

TNO-rapport**TNO 2019 M10988****Notitie aanpassingen VESTA model
schilmaatregelen utiliteitsgebouwen****Ten behoeve van functioneel ontwerp VESTA 4.0**

Datum	10 juli 2019
Auteur(s)	R.J.M.Niessink
Aantal pagina's	31 (incl. bijlagen)

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Beschrijving huidige kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen	5
2.1	Oorsprong VESTA energie kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen	5
2.2	Oorsprong VESTA investeringskosten kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen	6
3	Overzicht commentaar op huidige kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen	7
3.1	Overzicht commentaar externen uit de validatiesessie	7
3.2	Validatie kentallen door TNO.....	7
3.3	Uitgebreide toelichting aanbevelingen TNO	8
4	Verwerking aanbevelingen	12
4.1	Spreiding in vormfactoren (gebouwgrootte) opnemen	12
4.2	Vergelijking met RVB kosten kentallen schilmaatregelen	13
4.3	Brink Management en Advies kosten kentallen schilmaatregelen	14
4.4	Verwerking TNO aandachtspunten en aanbevelingen	15
5	Toelichting aanpassingen energiekentallen utiliteit	17
5.1	Beschrijving ontwikkeling kentallen functionele warmtevraag	17
5.2	Resultaat aanpassing energie kentallen functionele warmtevraag	18
5.3	Toelichting weging naar bouwtype	20
5.4	Aandeel ruimteverwarming	21
5.5	Graaddagen correctie	21
5.6	Toelichting methodebepaling besparing op functionele warmtevraag:	22
5.7	Vergelijking besparing met huidig VESTA model	27
5.8	Ventilatie bij utiliteit	28
5.9	Kentallen ruimtekoeling utiliteit	29
5.10	Investeringskosten kentallen schilmaatregelen	30
6	Referenties	31

1 Inleiding

In het kader van de validatie van kentallen voor het Vesta MAIS model (kortweg VESTA) van PBL heeft RVO verschillende validatiesessies georganiseerd, waaronder een sessie over schilisolatiemaatregelen voor woningen en utiliteitsgebouwen. TNO heeft tijdens deze sessie een presentatie gegeven voor externe partijen over de huidige (input) kentallen in VESTA en een vergelijking met andere bronnen laten zien. De validatie van kentallen voor schilmaatregelen voor woningen en utiliteitsbouw is uitgevoerd in het TNO project 'Validatie kentallen energiebesparing Vesta MAIS'.

Deze notitie beschrijft de stand van zaken met betrekking tot schilmaatregelpakketten voor de utiliteitsbouw voor de validatie, geeft een overzicht van het commentaar daarop vanuit de validatiesessie en door TNO, de verwerking van het commentaar, de voorgestelde aanpassingen en de doorgevoerde aanpassingen aan de VESTA kentallen. De aanpassingen leiden tot een nieuw VESTA input-bestand met geactualiseerde energie- en kosten kentallen voor de schilmaatregelpakketten. Deze notitie geeft een toelichting op de aanpassingen zodat het verschil met het eerdere functioneel ontwerp van het VESTA model ([functioneel ontwerp 3.0](#)) inzichtelijk wordt. De aanpassingen worden meegenomen in het nieuwe functioneel ontwerp 4.0 (FO 4.0) voor het VESTA model.

Door TNO en PBL zijn mogelijke aanpassingen geïnventariseerd naar aanleiding van het commentaar gegeven door externe partijen tijdens de validatiesessie. Een beschrijving van dit commentaar en de verwerking van dit commentaar wordt gegeven in deze notitie. In overleg met PBL is bepaald wat de vervolgstappen zijn en of het haalbaar en noodzakelijk is om de voorgestelde aanpassingen door te voeren in de volgende versie van het model.

De door TNO voorgestelde en doorgevoerde aanpassingen van kentallen voor de utiliteitsbouw komen voort uit diverse overlegmomenten tussen het PBL en TNO tijdens uitvoering van projectwerkzaamheden in aanloop naar de validatiesessie alsmede tijdens het traject daarna. De door TNO voorgestelde aanpassingen in het traject voor de validatiesessie zijn voorgelegd tijdens de validatiesessie. In overleg met het PBL zijn diverse aanpassingen besproken ten aanzien van de kentallen en vervolgens zijn deze door TNO geanalyseerd en is nagegaan of dit een verbetering betreft. In overleg met PBL is bepaald wat de vervolgstappen zijn en of het haalbaar en noodzakelijk is om de voorgestelde aanpassingen door te voeren in de volgende versie van het model.

Overzicht van de stappen/activiteiten in het project Validatie kentallen schilmaatregelen Vesta MAIS:

1. Voorbereiding Validatiesessie door TNO
2. Validatiesessie over de schilmaatregelen woningen + utiliteit met presentatie van resultaten door TNO
3. Verslagen van RVO over het commentaar gegeven tijdens de Validatiesessie
4. Verwerking commentaar, verdere dataverzameling en analyses door TNO
5. Nieuw input-bestand met kentallen aangeleverd door TNO
6. Deze notitie die de eerste vijf activiteiten beschrijft
7. Opstellen nieuw Functioneel Ontwerp (FO 4.0) door PBL.

Deze notitie heeft de volgende opzet:

- Hoofdstuk 2: Stand van zaken voor de validatie
- Hoofdstuk 3: Overzicht commentaar en aanbevelingen
- Hoofdstuk 4: Verwerking van het commentaar
- Hoofdstuk 5: Beschrijving van hoe het landt in het model

2 Beschrijving huidige kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen

2.1 Oorsprong VESTA energie kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen

Voor het energiegebruik van utiliteitsgebouwen wordt in VESTA gerekend met het gebruik per vierkante meter Bruto Vloer Oppervlak (BVO). Meer specifiek: het VESTA model rekent met de functionele warmtevraag in GJ per m²BVO. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen de vraag voor ruimteverwarming en voor warm tapwater. De functionele warmtevraag voor ruimteverwarming en de besparing daarop door isolatie worden beide uitgedrukt in GJ per m²BVO. Er zitten voor utiliteitsgebouwen drie schilmaatregelpakket varianten in VESTA:

- 1) van huidig naar Rc=3,5;
- 2) van huidig naar Rc=5 en
- 3) van Rc=3,5 naar Rc=5.

De uitgangssituatie 'vanaf huidig' wordt bepaald door de bouwjaarklasse en de bijhorende Rc-waarden en komen uit de studie 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014).

In de pakketten wordt de gehele schil (vloer, gevel en dak) geïsoleerd naar hetzelfde niveau. Glas wordt in het pakket van huidig naar Rc=3,5 vervangen door HR++ glas (Uwaarde=1,1). De besparing van de maatregelpakketten in GJ/m²BVO per gebouwtype door schilmaatregelen is momenteel gebaseerd op berekeningen gemaakt door DGMR aan voorbeeldgebouwen in de bestaande utiliteitsbouw zoals beschreven in het ECN rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014). Deze berekeningen zijn gemaakt met behulp van EPA-U software. Het betreft een theoretisch gebruik en theoretische besparing op basis van EPA-U berekeningen per maatregel voor een referentiegebouw. Deze berekeningen zijn destijds verder verwerkt door ECN en CE Delft en omgewerkt naar de huidige VESTA categorieën indeling in de BAG gebruiksfuncties en bouwperiodes (zoals in het huidige VESTA input-bestand wordt gehanteerd). Een nadere toelichting op de bepaling van kentallen voor utiliteitsbouw is te vinden in het CE rapport 'Energiekentallen utiliteitsgebouwen VESTA 2.0' (CE, 2014). Bepaalde aannames, bijvoorbeeld voor de omrekening van gasgebruik naar functionele warmtevraag voor ruimteverwarming per gebouwtype, komen uit het ECN rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014).

Er wordt in VESTA een correctiefactor toegepast om het berekende gasgebruik (en warmtegebruik) en elektriciteitsgebruik van de dienstensector (in totaal) te fitten op het werkelijke eindgebruik van de dienstensector zoals afkomstig uit de Nationale Energieverkenning (NEV). De NEV wordt gebaseerd op CBS statistieken voor het energiegebruik in de dienstensector. De correctiefactor is hetzelfde voor elk gebouwtype.

2.2 Oorsprong VESTA investeringskosten kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen

De investeringskosten van de maatregelpakketten in euro/m² BVO zijn gebaseerd op de Arcadis kosten kentallen voor het maatwerkadvies utiliteitsbouw uit 2013. Dit is de bron waarnaar wordt gerefereerd in het ECN rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014). Het ECN rapport geeft hierop een nadere toelichting. Arcadis geeft de kosten van individuele isolatiemaatregelen voor diverse gebouwtypen. Deze Arcadis gebouwtypen zijn toegewezen/gekoppeld aan de BAG gebruiksfuncties die in VESTA worden gehanteerd. Door optelling van de investeringskosten van individuele maatregelen van Arcadis zijn de maatregelpakketten samengesteld die gehanteerd worden in VESTA zoals weergegeven in Tabel 1. De bepaling van de geometrie van de referentiegebouwen is beschreven in het ECN rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014). Zie voor verdere toelichting op de bepaling van de VESTA kosten kentallen het CE rapport 'Energiekentallen utiliteitsgebouwen VESTA 2.0' (CE, 2014). De achterliggende bron is het ECN rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014). Per maatregel en bouwjaarklasse is in deze studie aangegeven wat de minimale en maximale kosten zijn per m² BVO, gebaseerd op het doorvoeren van de maatregelen op een natuurlijk moment (NM) versus een zelfstandig moment (ZM). Er is gekeken welke isolatiedikte bij de Arcadis maatregelen hoort en dit is omgerekend naar de bijhorende Rc-waarde. Vervolgens zijn de kosten in VESTA verhoudingsgewijs aangepast, zodat het overeenkomt met de Rc-waarde die in VESTA bij een labelsprong hoort. In VESTA wordt voor de minimale investeringskosten uitgegaan van de kosten op een natuurlijk moment (NM) en voor de maximale kosten van de kosten op een zelfstandig moment (ZM).

VESTA voert een inflatiecorrectie door; alle input kosten worden omgerekend naar het huidige prijspeil.

De kosten kentallen worden voorafgaand aan de Startanalyse (volgend run) geüpdatet met behulp van de Arcadis kosten kentallen utiliteitsbouw (voor bestaande bouw) uit 2016. Hier is een input-bestand voor ontwikkeld door het PBL. De methode erachter blijft dezelfde.

Tabel 1 Specificatie maatregelpakketten o.b.v. Arcadis maatregelen

	Schilmaatregel-pakket van huidig naar Rc=3,5	Schilmaatregel-pakket van Rc=3,5 naar Rc=5	Schilmaatregel-pakket van huidig naar Rc=5
Dakisolatie Rc3,5	X		X
Dakisolatie Rc5		X	X
Buitengevelisolatie Rc3,5	X		X
Binnengevelisolatie Rc5		X	X
Vloerisolatie Rc3,5	X		X
HR++ glas Uw=1,1	X		X

3 Overzicht commentaar op huidige kentallen schilmaatregelen utiliteitsgebouwen

Dit hoofdstuk geeft eerst een overzicht van het commentaar uit de validatie sessie en daarna van de aanbevelingen die voortkomen uit de analyses van TNO.

3.1 Overzicht commentaar externen uit de validatiesessie

Het aantal utiliteitsbouw-experts tijdens de validatiesessie was gering, namelijk minder dan drie. Er zijn desondanks enkele opmerkingen gemaakt en er is data beschikbaar gesteld ter vergelijking. Hieronder volgt een opsomming van deze punten:

1. Maak voor de investeringskosten van maatregelen onderscheid tussen een zelfstandig moment (ZM) en een natuurlijk moment (NM). (Dit wordt al gedaan in het huidige VESTA om de min.-max. range aan te geven).
2. De kentallen van VESTA worden uitgedrukt per m² BVO. Voor de bepaling van de kentallen per m² BVO is per BAG gebruiksfunctie één referentiegebouw gehanteerd als uitgangspunt. Dit referentiegebouw heeft een bepaald geometrie met bijbehorende vormfactoren (een voorbeeld van een vormfactor is de verhouding tussen m² geveloppervlak en m² vloeroppervlak). De vormfactoren verschillen sterk binnen een groep gebouwen van hetzelfde bouwtype, maar ook tussen bouwtypen in één sector. Brink Management en Advies (onderdeel van Brink Groep) stelt dat het van belang is om rekening te houden met de spreiding in vormfactoren van het bouwtype en de invloed daarvan op kosten kentallen en de energiegebruik/besparing kentallen. Aanbeveling: **Spreiding van de vormfactoren opnemen** in het Vesta MAIS model.
3. Het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) heeft investeringskosten opgestuurd ter vergelijking.
4. Brink Management en Advies (onderdeel van Brink Groep) heeft kosten kentallen voor utiliteitsgebouwen, maar vindt delen alleen zinvol als de uitgangspunten erachter vergeleken kunnen worden. Brink Management en Advies heeft daarom voorgesteld in opdracht van RVO een project op te starten bedoeld om de aannames achter de Arcadis investeringskosten te toetsen. Deze opdracht is verstrekt en de bevindingen kunnen tekstueel meegenomen worden in de Startanalyse van september 2019 en afhankelijk van de inzichten uit deze analyse van Brink Management en Advies in de doorrekeningen van de maart 2020 versie.

3.2 Validatie kentallen door TNO

Om de kentallen voor de schilmaatregelen te valideren zijn andere bronnen en studies geïnventariseerd die de energiebesparing en/of kosten van schilisolatiemaatregelen voor utiliteitsgebouwen opgeven. Vervolgens is achterhaald wat de oorsprong van deze cijfers is en hoe bruikbaar de bron is als vergelijkingsmateriaal voor het VESTA model. De bevindingen van deze vergelijking zijn opgenomen in het 'achtergrond document' bij de validatiesessie die te vinden is op de site van RVO (RVO, 2019a). De aanbevelingen uit het achtergrond document worden herhaald in Paragraaf 3.3.

De door TNO voorgestelde aanpassingen van kentallen voor de utiliteitsbouw komen voort uit diverse overlegmomenten tussen het PBL en TNO tijdens uitvoering van projectwerkzaamheden in aanloop naar de validatiesessie. De door TNO voorgestelde aanpassingen in het traject voor de validatiesessie zijn voorgelegd tijdens de validatiesessie.

3.3 Uitgebreide toelichting aanbevelingen TNO

De TNO aanbevelingen zijn opgenomen in het 'achtergrond document' bij de validatiesessie. Hieronder volgt een herhaling van deze punten met een verdere toelichting.

De analyses in het validatie project van TNO hebben tot de volgende aandachtspunten en verbeterpunten geleid voor de utiliteitsbouw:

1. **Kritisch kijken naar aannames voor isoleren van de gehele schil omdat deze aanname per bouwtype anders kan zijn.** In VESTA zitten alleen twee varianten waarin de gehele schil wordt geïsoleerd (naar $R_c=3,5$ en naar $R_c=5$). In andere bronnen wordt in veel gevallen niet de gehele schil geïsoleerd (ECN, 2017b; EIB, 2016). Isoleren van gehele schil hangt sterk samen met het uiteindelijke doel wat men wil bereiken. Voor het bereiken van label C of label A is het niet nodig om de gehele schil te isoleren, maar bijv. alleen de gevel en het dak (ECN, 2017b). In een winkelplint hoeft voor het bereiken van label A, qua schilmaatregelen alleen HR++glas toegepast te worden (ECN, 2017b). Voor het toepassen van lage temperatuur verwarming is de gehele schil isoleren mogelijk een voorwaarde. Vraag hierbij is: Bij welke isolatieniveau ligt de grens voor het toepassen van een warmtepomp of midden/laag temperatuur warmtenet? Deze aannames dienen nader onderzocht te worden.
2. Voor bepaalde gebouwen, zoals bijvoorbeeld sporthallen en industriehallen voor opslag, is het in de praktijk niet nodig of zelfs onrealistisch om de gehele schil vergaand te isoleren. Dit komt omdat het hier matig verwarmde hallen betreft. **Het bereikte effect van isolatie is zeer gering indien er matig verwarmd wordt.** De binnentemperatuur is lager dus de potentiële besparing ook.
3. Minder maatregelen aanhouden voor gebouwen zonder eigen dak en gebouwen die veel aangrenzende gevel(s) of geveldelen hebben met omringende gebouwen (denk aan winkels en horeca in een plint). Ca. 80% van het winkeloppervlak in Nederland (winkelvoorraad zonder productkoeling) zit in een winkelplint (ECN, 2017b). Een plint vereist mogelijk een andere berekeningsmethode voor zowel de kosten als besparing. **Mogelijk gaat het vooral om toepassing van isolatieglas bij gebouwen in een plint. Het is een aanbeveling vervolgonderzoek te doen naar plinten.**
4. In de utiliteitsbouw is door toepassing van energiezuinige verlichting zoals LED verlichting veel besparing te halen indien er nog onzuinige verlichting wordt toegepast (zoals TL verlichting). Het is aan te bevelen dit in ogenschouw te nemen, omdat verlichting een aanzienlijke post is in het gebouw gebonden energiegebruik. De kosteneffectiviteit van het maatregelpakket wordt hoger wanneer energiezuinige verlichting hierin wordt meegenomen (ECN, 2017b, EIB, 2016). Het toepassen van energiezuinige verlichting vertaalt zich bovendien in een hogere warmtevraag (energiezuinige verlichting geeft minder warmte af) en dit zou meegenomen moeten worden in het model. Verder wordt de toenemende

elektriciteitsvraag door warmtepompen en ICT/datacenters alsmede (lokale) hernieuwbare elektriciteitsopwekking (zonnepanelen) steeds belangrijker in de utiliteitsbouw. **Het meenemen van besparing op elektriciteit in het model is daarom een aanbeveling.**

5. Er wordt in VESTA één correctiefactor toegepast om het berekende gas (en warmte) gebruik en het elektriciteitsgebruik van de gehele dienstensector te fitten op het werkelijke eindgebruik van de dienstensector zoals afkomstig uit de Nationale Energieverkenning (NEV). De NEV wordt weer gebaseerd op CBS energiebalans statistieken voor het eindgebruik in de dienstensector. De factor is hetzelfde voor elk gebouwtype. Suggestie is om de correctiefactor op basis van de NEV te wijzigen in een **correctiefactor die afhangt van het gebouwtype**. Ook kan worden nagegaan of het mogelijk is om het gebruik te corrigeren op basis van het werkelijke gebruik in de betreffende regio op basis van **CBS energiegebruik cijfers voor wijken en buurten**.
6. **Overweeg om de isolatiewaarden conform Bouwbesluit isolatiewaarden voor nieuwbouw aan te houden in het maatregelpakket naar Rc=5**. Dat pakket bereikt de volgende isolatiewaarden: Rc= 3,5 voor vloer, Rc = 4,5 voor muur en Rc =6 voor dak (RVO, 2019b).
7. **Aanbeveling voor kosten berekening**: Niet eerst omrekenen naar euro per m²BVO maar uitgaan van euro/m² logische oppervlakte maat en te rekenen met de oppervlakten van de gebouwschil. Dit kan door de BAG vloeroppervlaktecijfers en gebouwhoogtes te gebruiken voor een inschatting van het schiloppervlak en dit in combinatie met Arcadis kosten per logische oppervlakte maat door te rekenen. Het is dan alleen nog nodig om een aanname te doen voor het gem. % glas ten opzichte van de gevel, bijv. op basis van statistische analyses op een bestaande database of marktonderzoek. ECN part of TNO beschikt over een database waarmee het gemiddelde glas% t.o.v. de gevel per bouwperiode kan worden bepaald.
8. **Onderzoek de invloed van gebouw grootte op energiegebruik/besparing en op kosten**. Nu is in VESTA steeds één referentiegebouw per BAG gebruiksfunctie gebruikt om de kentallen per m²BVO mee te berekenen. Het huidige uitgangspunt in VESTA is 1 referentiegebouw, oftewel 1 gebouwtype, per BAG gebruiksfunctie. Aanbeveling is om te onderzoeken wat de invloed is van de spreiding in gebouw grootte op de kentallen. We moeten ons realiseren dat achter elke BAG gebruiksfunctie meerdere gebouwtypen met verschillende geometrieën schuilgaan. Het is de vraag of het referentiegebouw qua geometrie 'voldoende' representatief is voor de betreffende BAG gebruiksfunctie.

Aanbeveling: Onderzoek de representativiteit van de grootte van het referentiegebouw voor de voorraad in Nederland en wat de invloed is van gekozen gebouw grootte op de kosten en energiegebruiken/besparing per m² BVO.

Het is nodig om te kijken welke gebouw grootte per gebouwtype het vaakste voorkomt. M.a.w. welke grootteklasse bij de betreffende BAG gebruiksfunctie het vaakste voorkomt. Als het uitgangspunt 1 referentiegebouw blijft dient gekeken te worden hoe representatief dit gebouw is voor de betreffende BAG gebruiksfunctie.

Voorbeeld: De BAG categorie bijeenkomst bevat bijeenkomstgebouwen zoals musea, theaters, maar ook café/restaurants. Stel: Laatstgenoemd gebouwtype

beslaat het grootste gedeelte van de m² BVO's in Nederland in de BAG categorie bijeenkomst. Het gaat dan om kleine gebouwen, dus het referentiegebouw in VESTA wordt dan ook een klein gebouw.

Aanbeveling: Onderscheid grootteklassen binnen een bouwjaarklasse

Beter dan één referentiegebouw met bijhorende geometrie te kiezen per BAG gebruiksfunctie (zoals het huidige VESTA) is het om het effect van gebouw grootte op de kentallen wel mee te nemen. Het is aan te raden voor het gekozen gebouwtype binnen de BAG gebruiksfunctie per bouwjaarklasse onderscheid naar grootteklassen te maken in het model.

Aanbeveling: Weging van energie kentallen naar gebouwtypen binnen één BAG gebruiksfunctie

Zolang VESTA de BAG gebruiksfuncties hanteert en niet onderscheid maakt in meer gebouwtypen is een weging van de kentallen sterk aan te raden. Een verbetering in de bepaling de energie kentallen is om per BAG gebruiksfunctie (voor gebouwtypen die binnen één BAG gebruiksfunctie vallen) een weging te maken van de kentallen op basis van de totale m² BVO's per gebouwtype per bouwjaarklasse binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie.

Tabel 2 geeft een overzicht van observaties, aandachtspunten en aanbevelingen die hierboven toegelicht worden. De verwerkingen van deze aanbevelingen in VESTA worden beschreven in hoofdstuk 4.

Tabel 2 Overzicht TNO observaties/aandachtspunten en aanbevelingen

Nr.	Observaties/Aandachtspunten door TNO	Data, scope model en/of rekenregel?	Aanbeveling TNO
1	Kritisch kijken naar isoleren van de hele schil. VESTA isoleert gehele schil terwijl andere bronnen dat niet altijd aannemen.	Data en Rekenregel	Laten onderzoeken in ander project
2	Bij sportgebouwen en industrie hele schil isoleren? Binnentemperatuur is lager dus potentiële besparing ook.	Data en Rekenregel	Laten onderzoeken in ander project
3	Minder maatregelen en dus lagere isolatie kosten aanhouden voor gebouwen zonder eigen dak en gebouwen die veel aangrenzende gevels hebben met omringende gebouwen (o.a. winkels en horeca in een plint). Vereist andere berekening. Mogelijk gaat het vooral om isolatieglas toepassen.	Data en Rekenregel	Laten onderzoeken in ander project
4	Kosteneffectiviteit van het totale maatregelpakket wordt hoger als je energiezuinige verlichting (LED) meeneemt.	Scope model	Elektriciteitsbesparing meenemen in VESTA
5	Er wordt in VESTA één correctiefactor toegepast om het berekende gas (en warmte) en elektriciteitsgebruik van de gehele dienstensector te fitten op het werkelijke eindgebruik van de dienstensector zoals afkomstig uit de Nationale Energieverkenning (NEV). De factor is hetzelfde voor elk gebouwtype. Aanbeveling is om de correctiefactor te wijzigen in een factor die afhangt van 1) het gebouwtype of 2) van de regio op basis van CBS wijken en buurten.	Rekenregel	Uitgaan van werkelijk gebruik per gebouwtype en daarna het totaal gebruik voor Nederland fitten op de NEV/statistiek en per regio fitten op CBS wijken en buurten statistiek
6	Overweeg om de Bouwbesluit isolatiewaarden aan te houden: $R_c = 3,5$ voor vloer, $R_c = 4,5$ voor muur en $R_c = 6$ voor dak.	Data	PBL gaat na of dit haalbaar is
7	Nu 1 referentiegebouw per BAG gebruiksfunctie in VESTA. Aanbeveling: Onderzoek wat de invloed is van gebouw grootte op de kosten en besparingen van de maatregelpakketten per m^2BVO .	Data en Rekenregel	Uitgaan van werkelijk gebruik en spreiding daarin afhankelijk van gebouw grootte. Laat invloed hiervan op kosten onderzoeken in een ander project
8	Als alternatief voor de kostenberekening kan gekozen worden om niet eerst om te rekenen naar m^2BVO , maar de BAG vloeroppervlaktecijfers en gebouwhoogtes te gebruiken voor een inschatting van het schiloppervlak en dit in combinatie met Arcadis kosten per logische oppervlakte maat door te rekenen. Aanname doen voor gem. % glas t.o.v. de gevel op basis van statistische analyses op een bestaande database of marktonderzoek.	Data en Rekenregel	PBL gaat na of dit haalbaar is

4 Verwerking aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft of en hoe het commentaar en de aanbevelingen uit hoofdstuk 3 zijn verwerkt. In overleg met het PBL zijn diverse mogelijke aanpassingen besproken ten aanzien van de kentallen en vervolgens zijn deze door TNO geanalyseerd en is nagegaan of dit een verbetering betreft. In overleg met PBL is bepaald wat de vervolgstappen zijn en of het haalbaar en noodzakelijk is om de voorgestelde aanpassingen door te voeren in de volgende versie van het model. In Paragraaf 4.1 t/m 4.3 wordt het commentaar van externen uit de validatiesessie verwerkt. Dit betreft de verwerking van de punten uit Paragraaf 3.1. Daarna worden in Paragraaf 4.4 de aanvullende aandachtspunten en aanbevelingen door TNO verwerkt. Dit is verwerking van de punten genoemd in Paragraaf 3.3.

Per aanbeveling is aangegeven of het in de Startanalyse wordt meegenomen of dat er later eventuele vervolgstapen op worden ondernomen. Zie de tabel in Paragraaf 4.4.

4.1 Spreiding in vormfactoren (gebouwgrootte) opnemen

Deze paragraaf gaat in op punt 2 uit Paragraaf 3.1.

Momenteel zijn de kentallen voor de functionele warmtevraag per BAG gebruiksfunctie gebaseerd op het theoretisch energiegebruik per m² BVO voor één referentiegebouw. Er is één verhouding tussen de gevel en het dak oftewel één vormfactor. Voor de functionele warmtevraag wordt onderscheid gemaakt naar bouwjaarklassen, maar er wordt momenteel geen onderscheid gemaakt naar grootteklassen binnen een bouwjaarklasse.

Rekening houden met de spreiding in vormfactoren (gebouwgrootte) kan betrekking hebben op, ofwel de functionele warmtevraag, ofwel de kosten kentallen. Voor de functionele warmtevraag is inmiddels de spreiding in beeld gebracht, zoals toegelicht in Paragraaf 4.1.1. Voor de kosten kentallen is dit nog in onderzoek, zie Paragraaf 4.3.

4.1.1 Invloed gebouwgrootte op functionele warmtevraag

Om de aanbeveling mee te kunnen nemen binnen VESTA is een nieuw kentallenbestand ontwikkeld op basis van het gemeten gebruik (gas en elektriciteit) per grootteklasse binnen een bouwjaarklasse. Deze kentallen zijn afkomstig uit een kentallen-studie voor 24 typen utiliteitsgebouwen uitgevoerd door ECN in 2016, waarin een koppelingen zijn gemaakt tussen de BAG, klantenbestanden met het gemeten gas- en elektriciteitsgebruik en andere databronnen (ECN, 2016). In de ECN (2016) dataset is een opdeling naar grootteklassen en bouwjaarklassen gemaakt maar ook een opdeling naar grootteklassen binnen bouwjaarklassen. Hieruit volgt een spreiding in gebruik afhankelijk van grootteklasse. Het effect van de spreiding van vormfactoren zit hier impliciet in, omdat bij verschillende grootteklassen verschillende (gemiddelde) vormfactoren horen. Er wordt per bouwjaarklasse en per gebouwtype een gewogen gemiddelde bepaald met het werkelijke gebruik voor de totale oppervlaktes (m² BVO) van de ECN-gebouwtypen

die binnen dezelfde bouwjaarklasse en BAG gebruiksfunctie vallen. Zie hoofdstuk 5 voor een verdere toelichting op de ontwikkeling van de kentallen.

4.2 Vergelijking met RVB kosten kentallen schilmaatregelen

Deze paragraaf gaat in op punt 3 uit Paragraaf 3.1.

Het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) heeft investeringskosten per maatregel beschikbaar gesteld, zie Tabel 3. Daarmee is een ruwe vergelijking gemaakt met de VESTA kosten kentallen voor een kantoor, zie Tabel 4. De vergelijking is gemaakt per logische oppervlakte maat (LOM).

Tabel 3 RVB kosten kentallen rijks vastgoed

Maatregel	Toelichting maatregel	Delta Rc	Bereikte Rc	Uglas	Ukozijn	euro*/m ² LOM
Vloerisolatie			4,5			55
Gevel open (ramen)				0,5	0,8	810
Gevel dicht	Gevel: Aanbrengen harde plaat isolatie, stuc werk en schilderen.	2,5				150
Gevel dicht	Gevel: Aanbrengen harde plaat isolatie, stuc werk en schilderen.	4				160
Gevel dicht		6				170
gevel dicht (nieuwe gevel)	Gevel: Verwijderen buitenspouwblad, aanbrengen harde plaat isolatie, nieuw buitenspouwblad.		8			400
Dak	Dak: Verwijderen dakbedekking, aanbrengen harde plaat isolatie en dakbedekking, incl. bijkomende kosten.		2,8			170
Dak	Dak: Verwijderen dakbedekking, aanbrengen harde plaat isolatie en dakbedekking, incl. bijkomende kosten.		4,3			190
Dak	Dak: Verwijderen dakbedekking, aanbrengen harde plaat isolatie en dakbedekking, incl. bijkomende kosten.		6,3			220

* De investeringskosten zijn per eenheid (m²). Totaal geïnstalleerd; inclusief BTW; inclusief indirecte kosten. Prijspeil 2019

Tabel 4 Kosten kentallen kantoor o.b.v. Arcadis (2016) kosten kentallen (uit bronbestand kosten VESTA)

Maatregel	Van Rc	naar Rc	Euro*/m ² LOM (ZM)	Euro*/m ² LOM (NM)
Vloerisolatie	huidig	3,5	21	16
Vloerisolatie	3,5	5	n.v.t.	n.v.t.
Gevel open (ramen)	enkelglas	HR++ (Uw=1,1)	170	117
Gevel dicht (buitenmuur)	huidig	3,5	164	138
Gevel dicht (binnenmuur)	3,5	5	165	139
Dak	huidig	3,5	91	26
Dak	3,5	5	91	26

* De investeringskosten zijn per eenheid (m²)
De oorspronkelijke peildatum van de kosten kentallen is 01-01-2016
Alle kosten kentallen zijn projectmatige kosten, excl. BTW.

Geconcludeerd kan worden dat de investeringen zoals ingeschat door RVB over het algemeen flink hoger zijn dan die van Arcadis. Zo zijn de kosten van vloer, open gevel (ramen) en dak isolatie flink hoger.

Waar zit het verschil tussen RVB en Arcadis?

Het verschil komt bijvoorbeeld doordat:

- Het prijspeil verschilt: RVB 2019 en Arcadis 2016. De invloed hiervan is in dit geval klein.
- De kosten van RVB incl. BTW zijn en Arcadis excl. BTW (21% verschil).
- De U-waarde van het glas verschilt.
- Het gegeven dat de kosten van RVB van toepassing zijn op rijksgebouwen en dan voornamelijk op kantoren en de Arcadis kosten meer generiek op kantoren
- Bepaalde indirecte/directe kosten wel of niet meegenomen zijn in de kosten van de betreffende maatregel.

Conclusie: Omdat de kosten kentallen van RVB specifiek voor rijksgebouwen zijn geeft dit alleen inzicht voor een deel van de bouwvoorraad, maar in VESTA wordt gerekend met kentallen voor de hele bouwvoorraad en de kosten van de RVB zijn daarvoor niet representatief. Daarom wordt vastgehouden aan de kosten van Arcadis. Die kosten worden gecorrigeerd naar het VESTA prijspeil.

4.3 Brink Management en Advies kosten kentallen schilmaatregelen

Deze paragraaf gaat in op punt 4 uit Paragraaf 3.1.

Brink Management en Advies heeft voorgesteld in opdracht van RVO een project op te starten bedoeld om de kengetallen en de aannames achter de Arcadis investeringskosten te toetsen.

Brink Management en Advies heeft het volgende aangegeven (op 31 mei 2019):

Om te waarborgen dat er voor het model reële kosten worden gerekend en uitgangspunten worden gehanteerd, zouden wij zowel voor woningbouw als voor utiliteitsbouw de volgende aspecten kunnen toetsen:

- Gerekende vormfactoren in relatie tot aard en omvang gebouw.
- Kengetallen maatregelen op gebouwniveau en elementniveau.
- Verschil in kosten tussen natuurlijk vervangingsmoment en individueel vervangingsmoment.
- Verschil in kosten tussen projectmatige en individuele toepassing maatregelen.
- Verschil in kosten tussen verschillende isolatiewaarden
- Demarcatie prijsniveau; zijn alle relevante kosten op investeringsniveau gerekend of weloverwogen uitgesloten?
 - Bijkomende kosten
 - Kosten voor raakvlakken in / aan het gebouw
 - Asbest
 - Omvang ABK
- Omschrijving van uitsluitingen en uitgangspunten.
- Is het juiste prijspeil gehanteerd en hoe zijn prijsstijgingen geprognosticeerd?
- Zijn gekozen maatregelen reëel en sluiten deze aan op gewenste Rc waarde sprong?
- Geven de gerekende maatregelen een reëel beeld van inpassingsmogelijkheden en daarmee een reële bandbreedte in kosten?

Aanpassingen aan de VESTA kosten op basis van de resultaten van Brink Management en Advies worden tekstueel mogelijk meegenomen in de september

2019 versie startanalyse, afhankelijk van bevindingen kunnen eventueel ook aanpassingen worden meegenomen in de investeringskosten voor de maart 2020 versie.

4.4 Verwerking TNO aandachtspunten en aanbevelingen

Tabel 5 geeft de opsomming van de TNO aandachtspunten en aanbevelingen weer en de verwerking of vervolgstappen n.a.v. deze aandachtspunten weer. Ook wordt in de tabel aangegeven wanneer en wat wordt meegenomen in welke versie van VESTA.

Tabel 5 Overzicht TNO observaties/aandachtspunten, vervolgstappen en opname in het model

Nr.	Observaties/Aandachtspunten door TNO	Vervolgstap n.a.v. aandachtspunt	Wanneer en wat wordt meegenomen in de Startanalyse (aangegeven door PBL)
1	Kritisch kijken naar isoleren van de hele schil. VESTA isoleert gehele schil terwijl andere bronnen dat niet altijd aannemen.	Hier gaat Brink Management en Advies naar kijken in een apart project	Tekstueel mogelijk meegenomen in september versie startanalyse, afhankelijk van bevindingen kunnen eventueel ook aanpassingen worden meegenomen in de investeringskosten voor de maart versie
2	Bij sportgebouwen en industrie hele schil isoleren? Binnentemperatuur is lager dus potentiële besparing ook.	Binnentemperatuur is geen onderdeel van het model. Er kan worden besloten sport en industrie niet mee te nemen in de resultaten	Niet binnen Startanalyse (maart of september), verbeterstap waar aparte studie voor nodig zou zijn en dit past niet in het tijdspad voor de Startanalyse.
3	Minder maatregelen en dus lagere isolatie kosten aanhouden voor gebouwen zonder eigen dak en gebouwen die veel aangrenzende gevels hebben met omringende gebouwen (o.a. winkels en horeca in een plint). Vereist andere berekening. Mogelijk gaat het vooral om glasisolatie.	Valt buiten de scope van het VESTA model	Niet binnen Startanalyse (maart of september), verbeterstap waar aparte studie voor nodig zou zijn en dit past niet in het tijdspad voor de Startanalyse
4	Minder maatregelen en dus lagere isolatie kosten voor gebouwen zonder eigen dak en gebouwen die veel aangrenzende gevels hebben met omringende gebouwen (o.a. winkels en horeca in een plint). Vereist andere berekening. Mogelijk gaat het vooral om glasisolatie.	Hier gaat Brink Management en Advies naar kijken in een apart project	Tekstueel mogelijk meegenomen in september versie startanalyse, afhankelijk van bevindingen kunnen eventueel ook aanpassingen worden meegenomen in de investeringskosten voor de maart versie
5	Correctiefactor werkelijk gebruik op basis van Nationale Energieverkenning (NEV)/CBS statistiek wijzigen in een factor die afhangt van 1) het bouwtype of 2) van de	Er wordt uitgegaan van het werkelijk gebruik per bouwtype o.b.v. de kentallen studie van ECN (2016). De kentallen zijn niet regio specifiek maar een gemiddelde voor gebouwen	Wordt meegenomen in september versie van de Startanalyse

Nr.	Observaties/Aandachts- punten door TNO	Vervolgstep n.a.v. aandachtspunt	Wanneer en wat wordt meegenomen in de Startanalyse (aangegeven door PBL)
	regio op basis van CBS wijken en buurten	in Nederland. Er wordt in het model wel rekening gehouden met regionale weersinvloeden door middel van een regionale graaddagencorrectie. Het totaal gebruik wordt gefit op de statistiek.	
6	Overweeg om de Bouwbesluit isolatiewaarden aan te houden: Rc= 3,5 voor vloer, Rc = 4,5 voor muur en Rc =6 voor dak.	Niet gedaan. Uitgangspunt is dat dit pakket overeenkomt met het Rc=5 pakket.	Niet meer in september versie, mogelijk wel in maart versie
7	Het huidige model maakt voor een bouwtype geen onderscheid naar grootteklassen binnen een bouwjaarklasse. Er wordt nu 1 referentiegebouw per BAG gebruiksfunctie gehanteerd in VESTA. Aanbeveling: Onderzoek wat de invloed is van gebouw grootte op de kosten en besparingen van de maatregelpakketten per m ² BVO.	In het ECN (2016) kentallen bestand is voor elk bouwtype per bouwjaarklasse de spreiding in de energie intensiteiten afhankelijk van gebouwgrootte opgezocht. De ECN bouwtypen zijn vervolgens geaggregeerd (gewogen met het totaal aantal m ² BVO per bouwtype) naar de BAG gebruiksfuncties. Voor elke BAG gebruiksfunctie is zo de spreiding in de functionele warmtevraag bepaald afhankelijk van grootteklasse binnen een bouwjaarklasse.	Niet meer in september versie, mogelijk wel in maart versie
8	Als alternatief voor de kostenberekening kan gekozen worden om niet eerst om te rekenen naar m ² BVO, maar de BAG vloeroppervlaktecijfers en gebouwhoogtes te gebruiken voor een inschatting van het schiloppervlak en dit in combinatie met Arcadis kosten per logische oppervlakte maat door te rekenen. Aanname doen voor gem. % glas t.o.v. de gevel op basis van statistische analyses op een bestaande database of marktonderzoek.	Niet gedaan. Vereist aanpassingen aan het model om te rekenen met grootteklassen. De spreiding in de gebouw grootte per bouwjaarklasse is wel in kaart gebracht (zie vorige punt).	Niet binnen Startanalyse (maart of september), verbeterstep waar aparte studie voor nodig zou zijn en dit past niet in het tijdspad voor de Startanalyse.

5 Toelichting aanpassingen energiekentallen utiliteit

In hoofdstuk 4 is toegelicht hoe de commentaren en aanbevelingen uit hoofdstuk 3 zijn verwerkt. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd welke aanpassingen voor de kentallen daaruit volgen en wordt uitgelegd hoe de nieuwe kentallen bepaald zijn. Door vergelijking met hoofdstuk 2 wordt het verschil duidelijk tussen bepaling van de huidige VESTA kentallen en de nieuwe. In dit hoofdstuk worden ook enkele aanpassingen besproken die niet in de vorige hoofdstukken zijn besproken, bijvoorbeeld de bepaling van kentallen voor ruimtekoeling per bouwtype.

5.1 Beschrijving ontwikkeling kentallen functionele warmtevraag

De huidige theoretische (EPA-U) kentallen voor energiegebruik per bouwtype (zie beschrijving in hoofdstuk 2) zullen worden vervangen door kentallen gebaseerd op het werkelijk gebruik:

- De aangeleverde energiekentallen gaan uit van het gemeten gebruik per bouwtype per bouwjaar op basis van het ECN kentallenonderzoek (ECN, 2016). Dit kentallenonderzoek heeft kentallen voor 24 bouwtypen ontwikkeld op basis o.a. van klantenbestanden van CBS en vloeroppervlaktecijfers uit de BAG.
- Verder is er voor ieder bouwtype, naast alleen een gemiddeld gebruik per bouwjaar, een onderscheid gemaakt naar grootteklassen binnen een bouwjaar. Deze data is afkomstig uit de Excel bijlage bij het betreffende ECN rapport (ECN, 2016). De ongewogen gemiddelde kentallen per bouwtype en bouwjaar worden gehanteerd. Er zijn ook kentallen beschikbaar waarin een gewogen gemiddelde is bepaald door de kentallen te wegen naar de bouwjaar. Deze kentallen zijn doorgaans net wat lager dan de ongewogen kentallen (ECN, 2016). Voorlopig wordt in VESTA gerekend met het ongewogen gemiddelde per bouwjaar en wordt nog geen onderscheid gemaakt in grootteklassen. Het is voor de benadering het nauwkeurigst om ongewogen kentallen te gebruiken in een model dat onderscheid maakt in grootteklassen en om gewogen kentallen te gebruiken wanneer geen onderscheid gemaakt wordt.

De ECN (ECN, 2016) kentallen hebben als eenheid m^3/m^2 gebruiksoppervlak (GO). In VESTA wordt gerekend met de functionele warmtevraag in GJ/m^2 Bruto Vloeroppervlak (BVO). De volgende omrekenfactoren zijn gebruikt:

- Calorische onderwaarde aardgas (LHV): $31,65\text{MJ}/\text{m}^3$
- Energetisch rendement ketel ruimteverwarming en warm water: 90%
- Omrekenfactor van m^2 GO naar m^2 BVO o.b.v. Arcadis voorbeeldgebouwen (Arcadis, 2016). De gemiddelde Arcadis vormfactor is aangehouden.
- Aandeel ruimteverwarming zie Paragraaf 5.4
- Graaddagencorrectie zie Paragraaf 5.5

De ECN (ECN, 2016) kentallen met onderscheid naar 24 bouwtypen worden geaggregeerd naar de BAG-gebruiksfuncties in VESTA. Daarvoor is telkens per bouwtype en per bouwjaar een gewogen gemiddelde functionele warmtevraag (GJ/m^2 BVO) bepaald met de totale oppervlakte per bouwtype in de betreffende bouwjaar. In de toekomst kan op basis van CBS

voorraadcijfers met een opdeling naar 24 gebouwtypen dit verder opgedeeld worden en is geen aggregatie meer nodig.

5.2 Resultaat aanpassing energie kentallen functionele warmtevraag

De energie kentallen voor de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming zijn weergegeven in Tabel 6. Een vergelijking van het gemiddelde gebruik in het huidige VESTA model met het gemiddelde gebruik volgens de kentallen van ECN (ECN, 2016) leidt tot de algemene conclusie dat het gebruik voor de 2 oudste bouwjaarklassen naar beneden moet worden bijgesteld. Dit komt omdat EPA-U het gemiddelde gasgebruik van ongeïsoleerde gebouwen overschat (ECN, 2018; ECN, 2017a). Voor gebouwen in de recentere bouwjaarklassen moet het gebruik naar boven worden bijgesteld. Dit is het omgekeerde effect (ECN, 2017a). Om nog steeds op het totaal gebruik per gebouwtype uit de statistiek uit te komen moet het gebruik voor de oudste bouwjaarklassen omlaag gaan en voor de recentere bouwjaarklassen omhoog gaan. De recentere bouwjaarklassen gaan met deze benadering dus juist meer energie (kunnen) besparen. Dit is in lijn met studies die laten zien dat EPA-U het (gebouwbonden) gebruik voor de goede labels (A en B labels) gemiddeld gezien onderschat (ECN, 2017a). Het werkelijke gebruik ligt voor de verschillende bouwjaarklassen een stuk dichterbij elkaar dan in het huidige VESTA zit, zie Tabel 6. (VESTA huidig in groen, nieuwe kentallen in het rood aangegeven).

Tabel 6 Resultaat aanpassing energie kentallen functionele warmtevraag ruimteverwarming

Vesta		gewogen gem. naar gebouwtype per subsector	Vesta huidig		
type gebouw	bouwjaar	Functionele warmtevraag GJ/m2BVO	Functionele warmtevraag GJ/m2BVO	ECN (2016) is...(hoger of lager)	factor
Kantoor	0<=1920	0,433	1,013	lager	43%
Kantoor	1920<=1975	0,433	0,796	lager	54%
Kantoor	1975<=1990	0,357	0,406	lager	88%
Kantoor	1990<=1995	0,320	0,373	lager	86%
Kantoor	1995<=2015	0,268	0,306	lager	88%
Kantoor	onbekend	0,268	0,509	lager	53%
Winkel	0<=1920	0,394	0,511	lager	77%
Winkel	1920<=1975	0,394	0,405	lager	97%
Winkel	1975<=1990	0,312	0,208	hoger	150%
Winkel	1990<=1995	0,281	0,197	hoger	143%
Winkel	1995<=2015	0,240	0,154	hoger	155%
Winkel	onbekend	0,240	0,300	lager	80%
Gezondheidszorg	0<=1920	0,429	1,153	lager	37%
Gezondheidszorg	1920<=1975	0,429	0,845	lager	51%
Gezondheidszorg	1975<=1990	0,384	0,476	lager	81%
Gezondheidszorg	1990<=1995	0,362	0,468	lager	77%
Gezondheidszorg	1995<=2015	0,343	0,390	lager	88%
Gezondheidszorg	onbekend	0,343	0,640	lager	54%
Logies	0<=1920	0,432	0,748	lager	58%
Logies	1920<=1975	0,432	0,602	lager	72%
Logies	1975<=1990	0,432	0,334	hoger	129%
Logies	1990<=1995	0,394	0,312	hoger	126%
Logies	1995<=2015	0,320	0,268	hoger	119%
Logies	onbekend	0,320	0,414	lager	77%
Onderwijs	0<=1920	0,356	0,534	lager	67%
Onderwijs	1920<=1975	0,356	0,403	lager	88%
Onderwijs	1975<=1990	0,307	0,216	hoger	142%
Onderwijs	1990<=1995	0,270	0,208	hoger	130%
Onderwijs	1995<=2015	0,262	0,163	hoger	161%
Onderwijs	onbekend	0,262	0,290	lager	90%
Industrie	0<=1920	0,311	0,429	lager	72%
Industrie	1920<=1975	0,311	0,334	lager	93%
Industrie	1975<=1990	0,235	0,173	hoger	136%
Industrie	1990<=1995	0,225	0,159	hoger	141%
Industrie	1995<=2015	0,183	0,131	hoger	140%
Industrie	onbekend	0,183	0,220	lager	83%
Bijeenkomst	0<=1920	0,645	0,579	hoger	111%
Bijeenkomst	1920<=1975	0,645	0,833	lager	77%
Bijeenkomst	1975<=1990	0,598	0,630	lager	95%
Bijeenkomst	1990<=1995	0,583	0,639	lager	91%
Bijeenkomst	1995<=2015	0,505	0,450	hoger	112%
Bijeenkomst	onbekend	0,505	0,653	lager	77%
Sport	0<=1920	0,437	0,748	lager	58%
Sport	1920<=1975	0,437	0,562	lager	78%
Sport	1975<=1990	0,388	0,340	hoger	114%
Sport	1990<=1995	0,386	0,336	hoger	115%
Sport	1995<=2015	0,329	0,285	hoger	115%
Sport	onbekend	0,329	0,403	lager	82%
Overig	0<=1920	0,301	0,235	hoger	128%
Overig	1920<=1975	0,301	0,171	hoger	176%
Overig	1975<=1990	0,228	0,092	hoger	248%
Overig	1990<=1995	0,220	0,089	hoger	247%
Overig	1995<=2015	0,177	0,071	hoger	249%
Overig	onbekend	0,177	0,116	hoger	153%
Cel	0<=1920	0,543	1,213	lager	45%
Cel	1920<=1975	0,543	0,823	lager	66%
Cel	1975<=1990	0,517	0,488	hoger	106%
Cel	1990<=1995	0,499	0,485	hoger	103%
Cel	1995<=2015	0,451	0,393	hoger	115%
Cel	onbekend	0,451	0,657	lager	69%

5.3 Toelichting weging naar bouwtype

Opbouw kengetallen

Per BAG gebruiksfunctie is een gewogen gemiddelde gas intensiteit ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{GO}$) berekend met behulp van de totale oppervlaktes¹ per bouwtype in Nederland per bouwjaar-klasse binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie.

Gebouwtypen utiliteit

- In VESTA zitten de bouwtypes conform de BAG (10) zoals hieronder weergegeven (met letters). In de studie van ECN (ECN, 2016) en de vloeroppervlaktecijfers (uit het LISA/BAG bestand) zitten beide meer dan 20 bouwtypes, hieronder weergegeven met bullet points.
- Kentallen zijn nu gebaseerd op het gewogen gemiddelde van de bouwtypen binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie.
 - a. Kantoor
 - Kantoor
 - b. Winkel (Detailhandel)
 - Supermarkt
 - Winkel zonder koeling
 - Groothandel (met winkelfunctie)
 - c. Gezondheidszorg
 - Ziekenhuis
 - Tehuis met overnachting
 - Medische praktijk
 - Logies gezondheidszorg
 - d. Logies
 - Hotel
 - Logies overig
 - e. Onderwijs
 - Basisschool
 - Voortgezet onderwijs
 - MBO/HBO/universiteit
 - Onderwijs overig
 - f. Industrie
 - Autoschadeherstelbedrijf/garage/showroom
 - Groothandel
 - Datacenter en laboratorium
 - g. Bijeenkomst
 - Café/restaurant
 - Bijeenkomst: Museum en Theater
 - h. Sport
 - Sportaccommodatie binnen en buiten
 - Zwembad en Sauna
 - i. Overig
 - Overig
 - j. Cel/gevangenis
 - Cel

¹ De oppervlakte cijfers komen uit de Excel-sheet "Berekening VESTA utiliteit_v_2014_12", behorende bij CE rapport 'Energiekentallen utiliteitsgebouwen VESTA 2.0'. Deze is destijds gebruikt toen VESTA van het LISA bestand overging naar de BAG. Hierin staat een tabel met de toewijzing van deelsectoren van LISA/BAG en VESTA. Er staan ook landelijk totaal oppervlakten van sectoren in.

5.4 Aandeel ruimteverwarming

Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van het ECN rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' Tabel 43 (ECN, 2014). Deze tabel geeft gemiddelde aandelen gasgebruik voor ruimteverwarming voor diverse gebouwtypen. De achterliggende bron is het rapport van Meijer (Meijer, 2009), waarbij verder nog wat keuzes gemaakt zijn voor gebouwtypen die Meijer niet had geanalyseerd. De Meijer kentallen worden overigens dit of komend jaar door ECN part of TNO geüpdatet.

Met behulp van de ECN (2016) kentallen voor gas en het aandeel voor ruimteverwarming is berekend hoeveel gas voor ruimteverwarming dit is. Er is per BAG gebruiksfunctie een gewogen gemiddelde bepaald voor de gebouwtypen die binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie vallen. Dit is gedaan door per BAG gebruiksfunctie en bouwjaarklasse een weging te maken op basis van de totale m² BVO's per gebouwtype binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie.

5.4.1 Warm tapwater

Het aandeel warm tapwater op het totaal gas- of elektriciteitsgebruik is afkomstig uit het rapport van Meijer (Meijer, 2009). Meijer geeft per gebouwtype aan of warm tapwater overwegend met gasgestookte of elektrisch toestellen wordt opgewekt. Voor bepaalde gebouwtypen (o.a. kantoren en scholen) is er meestal een elektrische boiler aanwezig. Voor andere gebouwtypen wordt warm water meestal met een Hr-ketel geproduceerd.

Met behulp van de ECN (2016) kentallen en het aandeel warm tapwater is berekend hoeveel GJ/m² BVO voor warm tapwater dit is. Er is per BAG gebruiksfunctie een gewogen gemiddelde bepaald voor de gebouwtypen die binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie vallen. Dit is gedaan door per BAG gebruiksfunctie en bouwjaarklasse een weging te maken op basis van de totale m² BVO's per gebouwtype binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie.

5.5 Graaddagen correctie

Een aandachtspunt voor bepaling van de kentallen voor de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming is de graaddagencorrectie.

De kentallen in het nieuwe input-bestand, zoals aangeleverd door TNO, horen bij 2730 (ongewogen) graaddagen in 2018. De graaddagen zijn op basis van de graaddagen in de Bilt. Dit is conform de NEV 2017 graaddagen reeks voor de Bilt. VESTA rekent voor regio de Bilt dus met dezelfde graaddagenreeks als de NEV. De ECN (2016) kentallen behoren echter bij het gebruiksjaar 2013 (3078 graaddagen in 2013). De ECN kentallen zijn daarom gecorrigeerd zodat deze corresponderen met 2730 graaddagen.

VESTA rekent in de scenario's met graaddagenreeksen per regio. De kentallen voor de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming worden dus per regio gecorrigeerd voor het aantal graaddagen per jaar. Uitgangspunt is dat het door klimaatopwarming trendmatig gemiddeld steeds warmer wordt en er dus steeds minder graaddagen zijn en dus steeds minder energie naar ruimteverwarming nodig zal zijn.

Met het uitgangspunt voor aantal graaddagen in 2018 per regio is de gecorrigeerde functionele warmtevraag voor ruimteverwarming (rv) te berekenen met:

Gecorrigeerde functionele vraag rv regio = Functionele vraag rv * graaddagen _regio/2730

5.6 Toelichting methodebepaling besparing op functionele warmtevraag:

5.6.1 Besparing van huidig naar Rc3,5

De besparing van huidig naar Rc3,5 wordt gebaseerd op het verschil in werkelijk gebruik tussen de betreffende bouwjaarklasse en de bouwjaarklasse 'vanaf 1995 tot en met 2015'. Het uitgangspunt is dat 'vanaf 1995 tot en met 2015' gebouwd werd met een Rc waarde van ca. Rc3,5 (zie toelichting in de tekst box).

Uitgangspunt is dat gebouwen die eerder gebouwd zijn dit gebruik krijgen zodra ze gerenoveerd zijn. De invloed van ketelvervanging en het ventilatiesysteem op het gasgebruik zijn dan impliciet meegenomen in de besparing.

Tekstbox 1 Relatie bouwjaar en Rc-waarden

ECN heeft in eerdere studies in kaart gebracht hoe door de verschillende jaren heen de energetische gebouwkenmerken (o.a. Rc-waarden) en installatie technische eigenschappen van gebouwen ontwikkeld zijn. Dit is gedaan voor kantoren (ECN, 2017a), maar ook voor basisscholen, verpleeghuizen, café/restaurants en winkels (ECN, 2017b). In Tabel 7 staan kantoorconfiguraties zoals doorgerekend met EPA-U software in de ECN studie voor kantoren (ECN, 2017a). De invoer van de software wordt getoond. Het kantoorgebouw is zo geconfigureerd dat dit voor de verschillende bouwjaarklassen correspondeert met de isolatie eisen die toentertijd golden. Vanaf 1992 gelden er isolatie-eisen, namelijk de eisen uit het Bouwbesluit. Dit was een Rc van 2,53 voor vloer, gevel en dak. Vanaf 1995 geldt de eis van Rc3,5. Door latere EPC aanscherpingen is de eis steeds hoger geworden. Al sinds een aantal jaren voldoet nieuwbouw aan minimaal gemiddeld Rc5 voor de gehele schil.

Het voordeel van de benadering is dat deze is gebaseerd op reële verschillen in werkelijk gebruik. Gedrags- en reboundeffecten zijn impliciet meegenomen. De besparing wordt daardoor voor de oudste bouwjaarklassen niet meer ruimschoots overschat zoals dit met theoretische EPA-U berekeningen voor de oudste bouwjaarklassen (energie labels G en F) het geval is (ECN, 2017a, b; ECN, 2018). Zie Figuur 1.

Een limitering van de benadering is dat verondersteld wordt dat na renovatie het gebruik hetzelfde is onafhankelijk van de bouwjaarklasse. In werkelijkheid zijn er wel degelijk verschillen in (de verdeling van) bezettingsgraad per bouwjaarklasse en deze worden nu dus niet meegenomen in het model. Zo kan in werkelijkheid een oud gebouw met lage bezetting dat gerenoveerd wordt een lager gebruik bereiken dan een (qua energetische kenmerken) vergelijkbaar recenter gebouw met een hogere bezetting. De invloed van de bezettingsgraad (aantal fte's) meenemen is

Aanbeveling

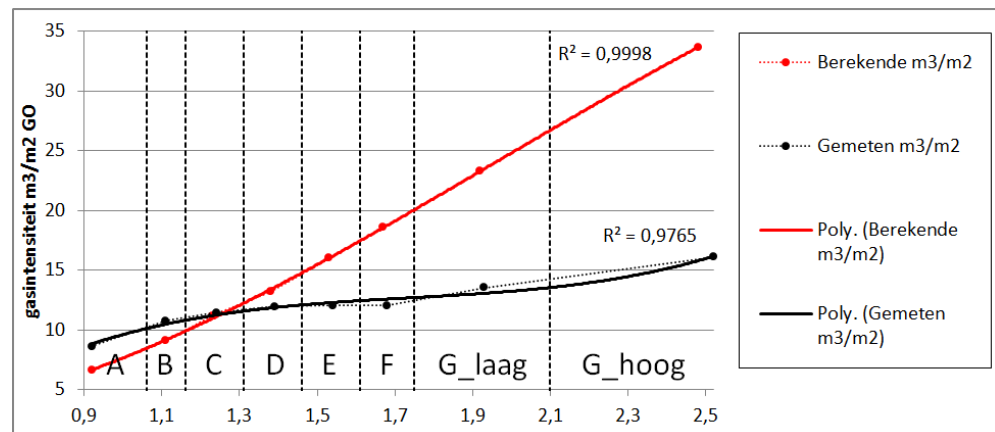
Voer voor de oudste bouwjaarklassen een renovatiecorrectie door op de kentallen om rekening te houden met het onderscheid tussen de gebruiken van (deels of geheel) gerenoveerde vs. niet-gerenoveerde gebouwen in de voorraad. Daarvoor zijn eerst statistische analyses nodig over welke maatregelen genomen zijn per gebouwtype per bouwjaarklasse.

dan ook een aandachtspunt in de verdere verbetering van het model. Het gebruik corrigeren voor de meest voorkomende bezettingsgraad (modus) per gebouwtype is een optie. Het meenemen van leegstand is belangrijk hierbij zodat het totaal gebruik per buurt klopt met CBS.

De ECN-kentallen voor de verschillende bouwjaarklassen van voor 1995 zijn een combinatie de gasgebruiken van (deels) gerenoveerde vs. niet-gerenoveerde gebouwen in de voorraad. Daardoor zit er een deel (deels) gerenoveerde gebouwen tussen die het gemiddelde omlaag trekken. Een aandachtspunt is om een onderscheid te maken in de energie-intensiteiten voor gerenoveerde en niet-gerenoveerde gebouwen. Daardoor wordt de besparing voor 'normaal' bezette gebouwen iets hoger.

Werkelijke verschillen in gebruik per label voor kantoren

Uit de kantorenstudie van ECN (ECN, 2017a) blijkt dat het verschil in gemiddelde werkelijke gas-intensiteit tussen label G en label A circa $7\text{ m}^3/\text{m}^2$ GO bedraagt (omgerekend een afname van $0,16\text{ GJ}/\text{m}^2$ BVO voor de functionele vraag voor ruimteverwarming). Het gemiddelde gemeten gebruik neemt af van label G naar label A, met voor de tussenliggende labels een vlak tussenstuk. Zie Figuur 1.



Figuur 1 Berekend en gemeten gasgebruik voor kantoren naar label (ECN, 2017a)

Theoretische procentuele (EPA-U) besparing toepassen op werkelijk gebruik leidt tot een overschatting van de werkelijke besparing

Een theoretische EPA-U besparingskental toepassen (zowel absolute besparing als procentuele besparing) op het werkelijk gebruik leidt tot een overschatting van de besparing voor (in ieder geval) de oudste twee bouwjaarklassen. Dit blijkt door uit te gaan van de ECN (ECN, 2016) kentallen en de besparingspercentages van de schilmaatregelpakketten die nu in VESTA zitten. Bijvoorbeeld: beschouw het isolatiepakket voor een kantoor uit bouwjaarklasse 1920-1975 die gaat van het huidige isolatieniveau naar Rc3,5. Dit pakket bespaart volgens EPA-U $0,59\text{ GJ}/\text{m}^2$ BVO (74%) op de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming. Omgerekend naar het gasgebruik per m^2 gebruiksoppervlak (rekening houdend met rendement ketel, omrekening vloeropp. en temperatuur correctie) is dat een besparing van $26,5\text{ m}^3/\text{m}^2$ GO. Fors hoger dan het gemiddelde verschil in gas gebruik tussen label G en A in Figuur 1. Deze overschatting van de gemiddelde besparing is er uit gehaald door uit te gaan van het werkelijk gebruik. Zoals in Figuur 1 te zien is wordt een gemiddelde besparing verwacht in de buurt van de $7\text{ m}^3/\text{m}^2$ GO voor deze

isolatiestap. Het nieuwe besparingskental sluit hier beter op aan, dit is namelijk 7,4 m³/m² GO (met bijhorende besparing op functionele vraag ruimteverwarming van 0,16 GJ/m²BVO). Het resultaat is dat het pakket 38% besparing oplevert op de functionele vraag voor ruimteverwarming (in plaats van 74%). Voor de overige bouwjaarklassen geldt: Naarmate het een recenter bouwjaar betreft kan gemiddeld gezien minder worden bespaard door isolatie.

Er is wel een kanttekening bij bovenstaande, omdat we steeds moeten bedenken dat bovenstaande gebaseerd is op gemiddelden, en dus niet de meest voorkomende waarde (modus). Dit punt is belangrijk, omdat veel (gedeeltelijke) leegstand het gemiddeld gebruik naar beneden trekt. De gekozen kentallen kunnen dus te laag liggen voor 'normaal' bezette gebouwen. En omgekeerd te hoog voor (deels) leegstaande gebouwen. Binnenkort publiceert ECN part of TNO een studie met daarin correctiefactoren voor de bezettingsgraad per bouwjaarklasse (voor kantoren). Daarmee kan het gebruik voor 'normaal' bezette gebouwen worden opgehoogd.

Tabel 7 Kantoorconfiguraties zoals doorgerekend met EPA-U software in de ECN studie voor kantoren (ECN, 2017a)

Referentie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
EPC						1,9	1,6, 1,5	1,1	0,8		
kwantitatieve omschrijving isolatie	niet, enkel	niet, spouw 100 mm	niet, spouw 210 mm	slecht, matig, spouw 4 cm isolatie; introductie mechanische ventilatie en dubbel glas	redelijk spouw 9 cm; introductie koeling en toerentalregeling	goed, spouw >9cm en/of buiten; koeling veelvuldig aanwezig	(zeer) goed, spouw >9cm en/of buiten	(zeer) goed, spouw >9cm en/of buiten	Mechanische ventilatie met topkoeling	Mechanische ventilatie met topkoeling	Overgenomen van BENG HR107 concept
Bouwjaar	Tot 1920	Van 1920 tot 1965	Van 1965 tot 1975	Van 1975 tot 1988	Van 1988 tot 1992	Van 1992 tot 1995	Van 1995 tot 2009	Van 2009 tot 2015	Van 2015 tot 2018	Van 2018 tot 2020	Van 2020 tot 2030
Ubouwproject renov. bestaand	Tot 1920	1921	Van 1920 tot 1975	Van 1975 tot 1988	Van 1988 tot 1992	Van 1992 tot 1995	Van 1995 tot 2009	Vanaf 2009			
Gebruik voor ref-jaar	Tot 1920	1943	1965	1975	1988	1995	2000	2009	2015	2018	2020
Bouwjaar	1920	1943	1970	1982	1990	1995	2000	2014	2015	2018	2020
Kwaliteitsverklaring	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja	ja
Koelsysteem	geen	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Transport medium koeling	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	lucht	lucht	lucht	lucht	lucht	lucht
Begrenzing	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	grond/luchtpouw	kruipruimte	kruipruimte
Rc vloer	0,15	0,15	0,17	0,52	1,3	2,53	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Rc gevel	0,19	0,36	0,43	1,3	2,0	2,53	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5
Rc dak	0,22	0,39	0,86	1,3	2,0	2,53	3,5	3,5	6,0	6,0	6,0
glas Ur	Enkel; 5,2	Enkel; 5,2	Enkel; 5,2	Dubbel; 2,9	Dubbel; 2,9	Dubbel; 2,9	Dubbel; 2,9	HR++, 1,65	HR++, 1,65	HR++, 1,4	HR++, 1,4
ZTA	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
zonwering	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten	auto, buiten
Massa vloer kg/m2	100-400	100-400	100-400	100-400	100-400	100-400	100-400	100-400	>400	>400	>400
Individueel systeem	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee
Individuele regeling	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Taanv	HT-systeem	HT-systeem	HT-systeem	HT-systeem	HT-systeem	HT-systeem	HT-systeem	LT-systeem	LT-systeem	LT-systeem	LT-systeem
Geïsoleerde leidingen	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	ja
Ketel	VR	VR	VR	HR100	HR100	HR100	HR107	HR107	HR-107	HR-107	HR-107
Pompen	zonder schakeling	zonder schakeling	zonder schakeling	zonder schakeling	met schakeling	met schakeling	met schakeling	met schakeling	met schakeling	met schakeling	met schakeling
Type warmteafgifte	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5	Radiatoren Rc<2,5
>50 graden	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee
Preferent toestel	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler	electroboiler
Temperatuurniveau	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	LT-systeem	LT-systeem	LT-systeem	LT-systeem	LT-systeem	LT-systeem
Preferent toestel	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Compressie; lucht; elek	Compressie; lucht; elek	Compressie; lucht; elek	Compressie; lucht; elek	Compressie; lucht; elek	Compressie; lucht; elek
Toerenregeling	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Koude van buiten	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Toerenregeling>50%	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Ventilatie	Natuurlijke toevoer, afvoer	Natuurlijke toevoer, afvoer	Natuurlijke toevoer, afvoer	Mech toe, mech afvoer afvoer zonder WTW	Mech toe, mech afvoer afvoer zonder WTW	Mech toe en mech afvoer met WTW	Mech toe en mech afvoer met WTW	Mech toe en mech afvoer met WTW	Mech toe en mech afvoer met WTW	Mech toe en mech afvoer met WTW	Mech toe en mech afvoer met WTW
Variant	nvt	nvt	nvt	standaard	standaard	D.2b1	D.2b1	D.2b1	D.2b2	D.2b2	D.2b2
Luchtdichtheidsklasse	nvt	nvt	nvt	LUKA A	LUKA B	LUKA C	LUKA C	LUKA C	LUKA C	LUKA C	LUKA C
Spuivoorziening	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen	te openen ramen
Terugregeling	nvt	nvt	nvt	geen	geen	20% recirculatie	20% recirculatie	20% recirculatie	20% recirculatie	20% recirculatie	20% recirculatie
Typw WTW	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Roterend, 70%	Roterend, 70%	Roterend, 70%	tegenstr. kunststof, 90%	kwaliteitsverkl. 90%	kwaliteitsverkl. 90%
Apv [m2]	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	100	250	900
Helling	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	45	45	45
Aanwezigheid >70%	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	ja	ja	ja
Armaturafzuiging	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	niet toegewezen	ja	ja	ja
Regeling	vertrekschakeling	vertrekschakeling	vertrekschakeling	vertrekschakeling	vertrekschakeling	veegpuls	veegpuls	Veeg icm dag	Veeg icm dag	Veeg icm dag	Veeg icm dag
licht W/m2	17	17	17	17	17	17	17	17	8	7	7
Energie label basismethode	G	G	G	F	E	D	C	A	A	A	A
Ei-basismethode	3,16	2,61	2,29	1,69	1,55	1,42	1,27	0,91	0,71	0,66	0,60
Energie label detailmethode								A+	A++	A+++	A+++
Ei-detailmethodemethode								1,01	0,75	0,55	0,21
Eptot/Epadm	4,931	4,488	2,818	3,126	2,858	2,362	2,021	1,383	0,997	0,754	0,284
Eptot [Ml]	6.250.987	5.689.018	4.840.432	3.963.359	3.623.561	2.994.188	2.562.395	1.753.031	1.264.011	956.003	359.579
EPC	3,95	3,60	3,06	2,51	2,29	1,89	1,62	1,11	0,80	0,61	0,23

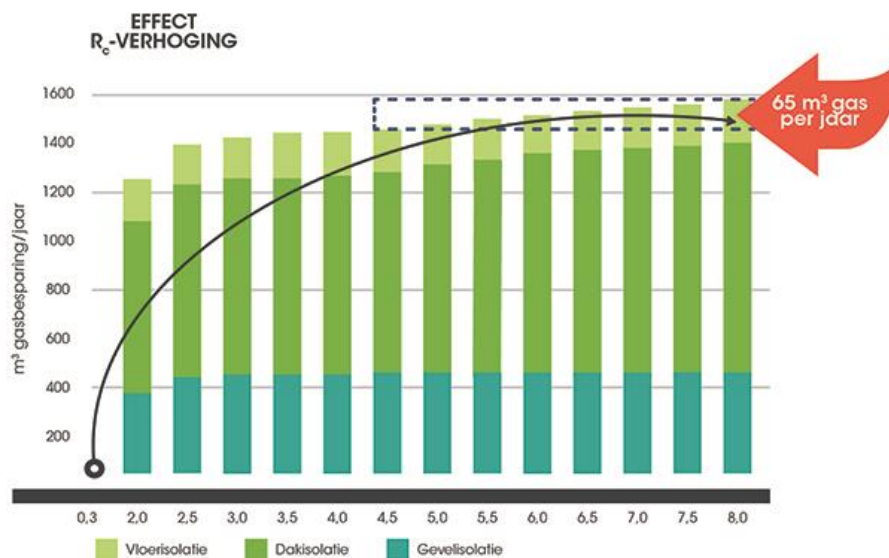
Aanbeveling

Deze tabel bevat een aantal belangrijke aannames met betrekking tot energetische gebouwenmerken per bouwperiode. Een externe review vanuit de praktijk zou welkom zijn.

5.6.2 Besparing van Rc3,5 naar Rc5

Voor de tweede isolatiestap van Rc3,5 naar Rc5 nemen we aan dat het gebruik voor ruimteverwarming met 5% afneemt. Met andere woorden het gebruik voor ruimteverwarming van een Rc5 gebouw is 95% van het gebruik van hetzelfde Rc3,5 gebouw. Deze afname in gebruik is gebaseerd op een Rc-waarde vs. gasbesparing curve voor woningen (EPC platform, 2015), welke de afnemende besparing van isolatiemaatregelen laat zien. Er kan van worden uitgegaan dat een dergelijke relatie tussen Rc-waarde en besparing ook geldt voor utiliteitsgebouwen.

Voor de voorbeeld woning geldt volgens de curve in Figuur 2: de besparing betreft eerst ca. 1250 m³ gas naar Rc2,0. Daarna nog ca. 200 m³ gas besparing naar Rc3,5 en vanaf daar nog ca. 75m³ gasbesparing naar Rc5. De laatste stap van Rc3,5 naar Rc5 bespaart dus ca. 5% van het totaal. Er is een duidelijke afnemende besparing van na-isolatie te zien.



Figuur 2 Besparing op gas afhankelijk van bereikte Rc-waarde (EPC Platform, 2015)

Aanbeveling: EPA-U berekening maken voor elk bouwtype

In Tabel 8 is voor een drietal voorbeeld kantoren berekend met de EPA-U software wat de procentuele besparing op gas voor de functie ruimteverwarming is voor de isolatie stap. De procentuele besparing komt relatief dicht in de buurt bij die voor woningen. De procentuele besparing hangt ook af van grootteklasse. Daarom is de aanbeveling om de 5% aan te passen met behulp van de berekende besparingspercentages aan de hand van EPA-U berekeningen aan voorbeeldgebouwen voor de verschillende bouwtypen. Voor kantoren kunnen de percentages uit Tabel 8 worden aangehouden.

Tabel 8 Besparing op gas ruimteverwarming afhankelijk van Rc-waarde

Referentie kantoor	Gebruiks-oppervlak m ² GO	Gas intensiteit ruimteverwarming Rc3,5 [m ³ /m ² GO]	Gas intensiteit ruimteverwarming Rc5 [m ³ /m ² GO]	Besparing van Rc3,5 naar 5 [m ³ /m ² GO]	Besparing van Rc3,5 naar 5 [%]
Groot	15600	12,8	12,1	0,6	5%
Middel	4800	12,1	11,2	0,9	8%
Klein	480	21,5	19,7	1,7	8%

5.6.3 Besparing van huidig naar Rc5

Dit wordt berekend als de som van de twee hiervoor genoemde Rc-stappen.

5.7 Vergelijking besparing met huidig VESTA model

In Tabel 9 is de besparing getoond ten opzichte van huidige VESTA model (groene gedeelte in de tabel). De besparing voor de twee oudste bouwjaarklassen wordt sterk lager met de nieuwe methode. Dit komt, zoals eerder toegelicht, omdat EPA-U het gasverbruik van ongeïsoleerde gebouwen overschat. Ook de besparing voor de recentere bouwperiodes wordt lager, omdat het gemeten gebruik dichter bij elkaar ligt dan in theorie (EPA-U) het geval is.

Tabel 9 Vergelijking van de nieuwe kentallen voor besparing op energiegebruik ruimteverwarming met het huidige VESTA model

Vesta	Vesta	Vesta	Vesta	Vesta	Vesta	uitgaande van warmtevraag bouwjaarklasse 1995-2015 voor Rc3,5	Uitgaande van 95% van gebruik bij Rc3,5	uitgaande van warmtevraag bouwjaarklasse 1995-2015 voor Rc3,5	Uitgaande van 95% van gebruik bij Rc3,5
type gebouw	bouwjaar	Theoretische besparing van huidig naar Rc=3,5 (GJ/m2BVO)	Theoretische besparing van huidig naar Rc=5 (GJ/m2BVO)	Theoretische besparing van huidig naar Rc=3,5	Theoretische besparing van huidig naar Rc=5	Besparing Warmtevraag Rc=3,5 GJ/m2BVO	Besparing Warmtevraag Rc=5 GJ/m2BVO	Besparing Warmtevraag Rc=3,5 GJ/m2BVO	Besparing Warmtevraag Rc=5 GJ/m2BVO
Kantoor	0<=1920	0,81	0,87	80%	86%	0,17	0,18	38,07%	41,17%
Kantoor	1920<=1975	0,59	0,65	74%	82%	0,17	0,18	38,07%	41,17%
Kantoor	1975<=1990	0,20	0,26	50%	65%	0,09	0,10	24,86%	28,62%
Kantoor	1990<=1995	0,17	0,23	45%	62%	0,05	0,07	16,21%	20,40%
Kantoor	1995<=2015	0,10	0,16	33%	53%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Kantoor	onbekend	0,30	0,36	58%	71%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Winkel	0<=1920	0,41	0,44	80%	86%	0,15	0,17	39,12%	42,16%
Winkel	1920<=1975	0,30	0,33	74%	82%	0,15	0,17	39,12%	42,16%
Winkel	1975<=1990	0,11	0,14	50%	65%	0,07	0,08	23,09%	26,94%
Winkel	1990<=1995	0,09	0,12	47%	63%	0,04	0,05	14,74%	19,00%
Winkel	1995<=2015	0,05	0,08	33%	53%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Winkel	onbekend	0,19	0,22	64%	75%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Gezondheidszorg	0<=1920	0,89	0,97	77%	84%	0,09	0,10	20,03%	24,03%
Gezondheidszorg	1920<=1975	0,58	0,66	69%	78%	0,09	0,10	20,03%	24,03%
Gezondheidszorg	1975<=1990	0,21	0,29	44%	61%	0,04	0,06	10,74%	15,21%
Gezondheidszorg	1990<=1995	0,20	0,28	43%	60%	0,02	0,04	5,27%	10,00%
Gezondheidszorg	1995<=2015	0,12	0,20	30%	51%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Gezondheidszorg	onbekend	0,36	0,44	56%	69%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Logies	0<=1920	0,56	0,61	74%	82%	0,11	0,13	25,87%	29,58%
Logies	1920<=1975	0,41	0,47	68%	78%	0,11	0,13	25,87%	29,58%
Logies	1975<=1990	0,14	0,20	42%	60%	0,11	0,13	26,02%	29,72%
Logies	1990<=1995	0,12	0,18	38%	57%	0,07	0,09	18,90%	22,96%
Logies	1995<=2015	0,08	0,13	28%	50%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Logies	onbekend	0,21	0,27	52%	66%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Onderwijs	0<=1920	0,43	0,46	80%	86%	0,09	0,11	26,36%	30,04%
Onderwijs	1920<=1975	0,29	0,33	73%	81%	0,09	0,11	26,36%	30,04%
Onderwijs	1975<=1990	0,11	0,14	50%	65%	0,04	0,06	14,47%	18,75%
Onderwijs	1990<=1995	0,10	0,13	48%	63%	0,01	0,02	2,80%	7,66%
Onderwijs	1995<=2015	0,05	0,09	33%	53%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Onderwijs	onbekend	0,18	0,21	61%	73%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Industrie	0<=1920	0,34	0,37	80%	86%	0,13	0,14	41,18%	44,12%
Industrie	1920<=1975	0,25	0,27	74%	82%	0,13	0,14	41,18%	44,12%
Industrie	1975<=1990	0,09	0,11	50%	65%	0,05	0,06	22,31%	26,19%
Industrie	1990<=1995	0,07	0,10	45%	62%	0,04	0,05	18,74%	22,80%
Industrie	1995<=2015	0,04	0,07	33%	53%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Industrie	onbekend	0,13	0,16	59%	71%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Bijeenkomst	0<=1920	0,43	0,48	75%	82%	0,14	0,17	21,71%	25,62%
Bijeenkomst	1920<=1975	0,57	0,65	68%	78%	0,14	0,17	21,71%	25,62%
Bijeenkomst	1975<=1990	0,27	0,38	43%	60%	0,09	0,12	15,64%	19,86%
Bijeenkomst	1990<=1995	0,27	0,38	42%	59%	0,08	0,10	13,48%	17,81%
Bijeenkomst	1995<=2015	0,13	0,22	29%	50%	0,00	0,03	0,00%	5,00%
Bijeenkomst	onbekend	0,40	0,47	61%	73%	0,00	0,03	0,00%	5,00%
Sport	0<=1920	0,54	0,60	72%	80%	0,11	0,12	24,65%	28,42%
Sport	1920<=1975	0,35	0,42	63%	74%	0,11	0,12	24,65%	28,42%
Sport	1975<=1990	0,13	0,19	39%	57%	0,06	0,08	15,26%	19,50%
Sport	1990<=1995	0,13	0,19	38%	57%	0,06	0,07	14,76%	19,03%
Sport	1995<=2015	0,08	0,14	27%	49%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Sport	onbekend	0,19	0,25	46%	62%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Overig	0<=1920	0,19	0,20	80%	86%	0,12	0,13	41,13%	44,07%
Overig	1920<=1975	0,12	0,14	72%	81%	0,12	0,13	41,13%	44,07%
Overig	1975<=1990	0,04	0,06	49%	64%	0,05	0,06	22,34%	26,22%
Overig	1990<=1995	0,04	0,06	47%	63%	0,04	0,05	19,38%	23,42%
Overig	1995<=2015	0,02	0,04	33%	53%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Overig	onbekend	0,07	0,08	57%	70%	0,00	0,01	0,00%	5,00%
Cel	0<=1920	0,94	1,02	78%	84%	0,09	0,11	16,92%	21,07%
Cel	1920<=1975	0,55	0,63	67%	77%	0,09	0,11	16,92%	21,07%
Cel	1975<=1990	0,22	0,30	45%	61%	0,07	0,09	12,85%	17,21%
Cel	1990<=1995	0,21	0,30	44%	61%	0,05	0,07	9,69%	14,20%
Cel	1995<=2015	0,12	0,20	31%	52%	0,00	0,02	0,00%	5,00%
Cel	onbekend	0,37	0,46	56%	69%	0,00	0,02	0,00%	5,00%

5.8 Ventilatie bij utiliteit

De aanname is dat, wanneer in het gebouw schilmaatregelen genomen worden, mechanische ventilatie met warmteterugwinning (WTW) wordt toegepast :

- Kosten voor mechanische ventilatie + WTW worden meegenomen in het maatregelenpakket
- Besparing op de functionele warmtevraag door toepassing van WTW wordt impliciet meegenomen in het model doordat wordt uitgegaan van het verschil in werkelijk gebruik per bouwjaarklasse (waar de invloeden van ventilatiesystemen inzitten).

5.9 Kentallen ruimtekoeling utiliteit

Voor de koelvraag per gebouwtype zijn (nieuwe) kentallen bepaald door TNO die hieronder worden beschreven.

Voor bepaling van het aandeel ruimtekoeling op het elektriciteitsgebruik is gebruik gemaakt van een KWA rapport uit 2016 (KWA, 2016). Hierin staan gegevens over het energiegebruik voor koelinstallaties in de dienstensector (Tabel 2.1). Het betreft het percentage van het totale elektriciteitsgebruik per gebouwtype dat naar koeling gaat. Dit betreft zowel ruimtekoeling als proceskoeling. Per gebouwtype is beredeneerd of proceskoeling een groot aandeel zou kunnen hebben. Wanneer dat het geval is dan is het percentage niet gebruikt. Voor kantoren en horeca (alleen airco) zijn percentages uit Tabel 2.1 gebruikt. Voor gebouwtypen die niet voorkomen in Tabel 2.1 van het KWA rapport is gebruik gemaakt van een rapport van Meijer (Meijer, 2009). Dit rapport maakt een opdeling van het energiegebruik per gebouwtype naar energiefunctie. In dit rapport wordt steeds onderscheid gemaakt tussen de functies proces en ruimtekoeling. Voor gebouwtypen die ontbreken in beide rapporten zijn inschattingen gemaakt door de gevonden % voor de gebouwtypen onderling te vergelijken en te beredeneren welke gebouwtypen qua koelvraag enigszins op elkaar zouden kunnen lijken. Het overzicht met de %'s per gebouwtype is weergegeven in Tabel 10.

De functionele koelvraag wordt vervolgens berekend door het kental voor elektriciteit te vermenigvuldigen met het aandeel ruimtekoeling. De elektriciteit-intensiteiten ($\text{kWh/m}^2 \text{ GO}$) per gebouwtype zijn afkomstig uit de ECN kentallenstudie (ECN, 2016). Door te vermenigvuldigen met het aandeel ruimtekoeling is de functionele koelvraag bepaald. In de omrekening is de gemiddelde waarde voor het rendement (COP) van koelmachines per branche gebruikt op basis van KWA (KWA, 2016). In dit geval geldt voor alle gebouwtypen $\text{COP}=4$. Dit komt overeen met het rendement van compressiekoelmachines in de EPA-U labelmethodiek. Dit is 1,56 op basis van primaire energie, d.w.z. rekening houdend met rendement voor elektriciteitsproductie uit primaire brandstoffen. Het rendement van elektriciteitsopwekking dat is aangenomen in EPA-U is 39%. Teruggerekend komt dit uit op van COP van 4, oftewel hetzelfde als KWA (2016).

Er is per BAG gebruiksfunctie een gewogen gemiddelde koelvraag bepaald voor de gebouwtypen die binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie vallen. Dit is gedaan door per BAG gebruiksfunctie (voor de gebouwtypen die binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie vallen) en bouwjaarklasse een weging te maken van de kentallen op basis van de totale m^2 BVO's per gebouwtype binnen de betreffende BAG gebruiksfunctie.

Tabel 10 Aandeel ruimtekoeling per gebouwtype

Type gebouw VESTA	Gewogen gem. % koeling van totaal elektriciteitsgebruik (voor ruimtekoeling)	Bron(nen) voor % ruimtekoeling van elektriciteitsgebruik per gebouwtype
Kantoor	17%	KWA (2016)
Winkel	5%	Meijer (2009)
Gezondheidszorg	3%	KWA (2016) en Meijer (2009)
Logies ¹	15%	Zie opmerking
Onderwijs ²	9%	KWA (2016)
Industrie	2%	KWA (2016) en Meijer (2009)
Bijeenkomst ⁴	15%	KWA (2016)
Sport ³	2%	Zie opmerking
Overig ³	2%	Zie opmerking
Cel ¹	15%	Zie opmerking

1 voor logies en cellen hetzelfde % aangehouden als voor bijeenkomst.

2 % voor hoger onderwijs

3 Hetzelfde % aangehouden als voor industrie (bedrijfshal/groothandel)

4 % voor horeca (alleen airco)

5.10 Investeringskosten kentallen schilmaatregelen

Er wordt voor de Startanalyse (eerste run) gebruikt gemaakt van de Arcadis kosten kentallen maatwerkadvies (bestaande bouw) uit 2016. Zie hoofdstuk 2 voor een toelichting op de methode.

Aanbeveling: Houdt rekening met reeds uitgevoerd renovaties

Een beperking van de methode voor bepaling van de kosten van de maatregelenpakketten is dat er geen rekening wordt gehouden met reeds uitgevoerde renovaties in de betreffende bouwjaarklasse. Voor een bepaalde bouwjaarklasse wordt het gehele maatregelpakket doorgevoerd indien de uitgangsc-waarde lager is dan Rc3,5 (of Rc5). In de praktijk zullen er per bouwjaarklassen gebouwen tussen zitten die bepaalde isolatiemaatregelen al genomen hebben. Het waarschijnlijke gevolg is dat de door VESTA berekende investeringskosten daardoor een overschatting zijn van de daadwerkelijke kosten. Aan de andere kant zou het kunnen dat de kosten kentallen van Arcadis te optimistisch zijn, omdat mogelijk bepaalde kostenposten niet zijn meegenomen. Het is daardoor niet met absolute zekerheid aan te geven of de kosten kentallen in VESTA te laag of te hoog zijn ten opzichte van de daadwerkelijke investeringskosten. Het verdient aanbeveling om de aannames achter Arcadis kentallen onder de loep te nemen. Het verdient ook aanbeveling om vervolganalyses te doen van reeds uitgevoerde renovaties per gebouwtype per VESTA bouwjaarklasse. Vervolgens kan per gebouwtype en bouwperiode een correctiefactor worden bepaald voor de kosten zodat rekening wordt gehouden met reeds genomen maatregelen.

Brink Management en Advies gaat in een apart project kijken naar de Arcadis kosten kentallen en de gehanteerde uitgangspunten. De resultaten van worden niet meer meegenomen in de Startanalyse (eerste run) versie 0.8. Wanneer Brink Management en Advies met een update komt kan dit worden gebruikt voor een latere versie (versie 1.0).

6 Referenties

- Arcadis (2016) Investeringskosten maatregelen EPA maatwerkadvies utiliteitsbouw 2016. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/investeringskosten-energiebesparende-maatregelen>
- CE (2014) Energiekentallen utiliteitsgebouwen VESTA 2.0 https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2015-ce-delft-energiekentallen-utiliteitsgebouwen-VESTA-2.0_02321.pdf.
- ECN (2014) Verbetering referentiebeeld utiliteitssector <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--13-069>.
- ECN (2016) Ontwikkeling energie kentallen utiliteitsgebouwen - Een analyse van 24 bouwtypen in de dienstensector en 12 industriële sectoren.
- ECN (2017a) Energielabels en het daadwerkelijk energiegebruik van kantoren.
- ECN (2017b) Verkenning Utiliteitsbouw
- ECN (2018) Energielabels en het daadwerkelijk energiegebruik van scholen en tehuizen in de zorg
- EIB (2016) Verplicht energielabel voor kantoren
- EPC platform (2015) Verder verhogen van Rc waarden rendabel. <https://epcplatform.nl/verder-verhogen-van-rc-waarden-rendabel/>
- KWA (2016) Het elektrisch energiegebruik en het warmteaanbod van koelinstallaties voor een veertigtal bedrijfssectoren.
- Meijer (2009) Energiegebruik per functie voor SenterNovem.
- RVO (2019a) Validatiesessies voor het Vesta MAIS model <https://www.rvo.nl/actueel/evenementen/validatiesessies-voor-het-vesta-mais-model>.
- RVO (2019b) Energieprestatie-eisen bij verbouw en renovatie <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/energieprestatie-epc/energieprestatie-eisen-bij-verbouw-en-renovatie>