

TNO PUBLIEKRadarweg 60
1043 NT Amsterdamwww.tno.nl

T +31 88 866 50 10

TNO-rapport**TNO 2022 P10624****Het besparingspotentieel bij bedrijfshallen in
de dienstensector**

Datum	16 februari 2022
Auteur(s)	Robin Niessink, Marijke Menkveld
Met dank aan:	Jeffrey Sipma, Manuela Loos
Aantal pagina's	66 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Projectnaam	RVO besparingspotentieel bedrijfshallen
Projectnummer	060.47971

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.

© 2022 TNO

TNO PUBLIEK

Samenvatting

Aanleiding

RVO heeft TNO gevraagd onderzoek te doen naar het besparingspotentieel bij bedrijfshallen. Bestaande bedrijfshallen hebben geen energielabel en uit monitoringsonderzoek blijkt dat er in bedrijfshallen minder energiebesparende maatregelen worden getroffen dan in andere gebouwtypen. Om advies te kunnen geven aan beleidsmakers over nieuw beleid wil RVO weten hoe groot het besparingspotentieel in bedrijfshallen in de dienstensector is, verdeeld naar type bedrijfshal en type maatregelen. Ook is de vraag gesteld hoeveel extra besparing mogelijk is wanneer nieuwe bedrijfshallen aan BENG-eisen moeten voldoen, net als andere gebouwtypen.

De berekening van het besparingspotentieel vereist een definitie van bedrijfshal als gebouwtype, inzicht in de omvang van de bouwvoorraad bedrijfshallen in vierkante meters naar type en het energieverbruik daarvan.

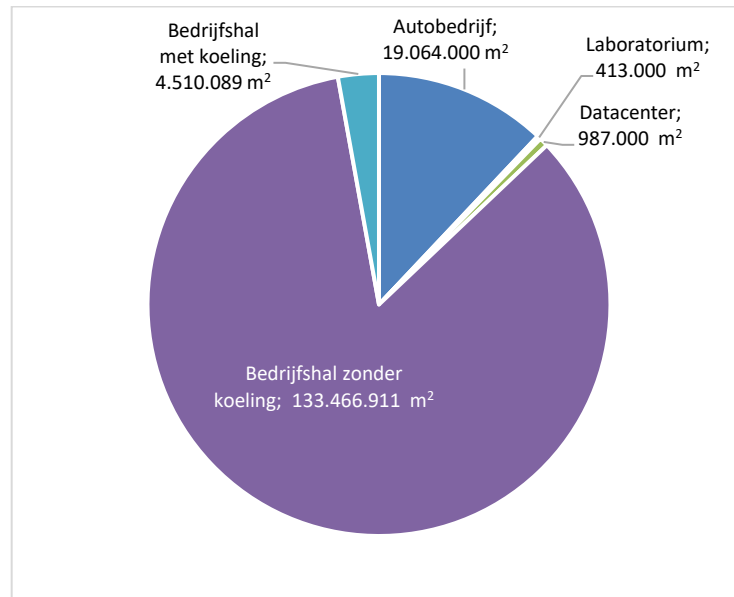
Definitie bedrijfshal als gebouwtype

Bedrijfshallen betreft een containerbegrip waar diverse gebouwtypen en economische activiteiten onder vallen. Het gaat om gebouwen met een 'industriefunctie'¹ in de BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen). We kijken in dit onderzoek alleen naar gebouwen in de dienstensector; het gaat dan om de sectoren G t/m S + U in de Standaard Bedrijfsindeling (SBI) van CBS. Deze bedrijfshallen hebben als voornaamste doel het bedrijfsmatig bewerken en opslaan van goederen.

Gebouwvoorraad in vierkante meters

Voor de inventarisatie van de bouwvoorraad en afbakening van de doelgroep is gebruik gemaakt van de aantallen vbo's en m² gebruiksoppervlak per gebouwtype uit de CBS gebouwenmatrix. In de gebouwenmatrix zitten 4 gebouwtypen die te categoriseren zijn als gebouwen met een 'industriefunctie' namelijk autobedrijven, laboratoria, bedrijfshallen en datacenters. In deze studie wordt verder onderscheid gemaakt tussen bedrijfshallen met productkoeling (koel- en vrieshuizen) en bedrijfshallen zonder productkoeling. In totaal geeft dit 5 gebouwtypen waar deze studie zich op richt. De verdeling van het gebruiksoppervlak naar gebouwtype is weergegeven in Figuur S1. Deze cijfers worden na aftrek van de leegstand gebruikt in de potentieelberekening.

¹ De industrie functie in de BAG kan betrekking hebben op de volgende gebouwtypen (Brink, 2020): werkplaats, magazijn, fabriek, bedrijfshal, opslagruimte, stal, loods, tuinbouwkas, koel- of vrieshuis, grootkeuken, laboratorium, garage, brandweerkazerne, groothandel, datacentrum. Doordat deze studie zich richt op bedrijfshallen binnen de dienstensector vallen gebouwtypen in de landbouw (stal en tuinbouwkas) en industrie (o.a. fabriek) buiten beschouwing.



Figuur S1: Onderverdeling gebruiksoppervlak (m²) bedrijfshallen naar type in 2020 (inclusief leegstand)

Energieverbruik bedrijfshallen

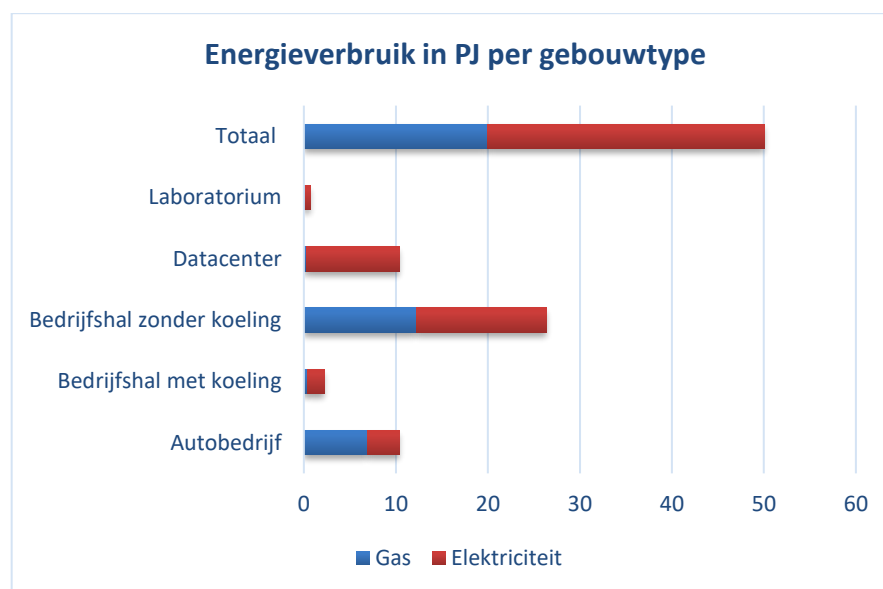
De vierkante meters per gebouwtype zijn onderverdeeld naar 'verwarmd', 'vorstvrij' en 'gekoeld'. Een datacenter heeft proceskoeling en een 'bedrijfshal met koeling' (koel- of vrieshuis) beschikt over productkoeling. Deze gebouwtypen categoriseren we daarom als 'gekoeld'. Daarnaast nemen we aan dat laboratoria verwarmd worden. Voor 'bedrijfshallen zonder koeling' en autobedrijven is gebruikt gemaakt van cijfers uit het Panteia monitoringsonderzoek. Hiermee is gekwantificeerd dat respectievelijk 22% en 41% van het gebruiksoppervlak van deze gebouwtypen verwarmd wordt op werkteemperatuur. De rest wordt vorstvrij gehouden. De aanname die we doen is dat ieder gebouw een verwarmingsinstallatie heeft voor het vorstvrij houden.

De vierkante meters per gebouwtype zijn onderverdeeld naar drie bouwjaarklassen te weten 'voor 1992', '1992 t/m 2011' en 'vanaf 2012'. Deze bouwjaarklassen zijn zo gekozen omdat in 1992 voor het eerst isolatie-eisen in het bouwbesluit zijn opgenomen en deze in 2012 zijn aangescherpt. Voor bedrijfshallen als totaal komt 49% van de vierkante meters uit bouwjaarklasse 'voor 1992', 44% uit de tussenliggende periode en 7% uit de periode 'vanaf 2012'. De onderverdeling verschilt per gebouwtype; autobedrijven zijn bijvoorbeeld relatief oud, terwijl datacenters juist vooral recentere gebouwen zijn.

Er is een bottom-up inschatting gemaakt van het energieverbruik voor gas en elektriciteit per gebouwtype door het gebruiksoppervlak te vermenigvuldigen met de gemiddelde energie-intensiteit (energieverbruik per vierkante meter). Er is daarin rekening gehouden met de segmentering van de voorraad naar verwarmd, vorstvrij en gekoeld en de onderverdeling naar bouwjaarklassen. Figuur S2 geeft het totale berekende energieverbruik² voor gas en elektriciteit per gebouwtype. Het totaal

² Met het type energiedrager is geen rekening gehouden in deze berekening. Alle vierkante meters hebben een aardgasgebruik toegewezen gekregen ongeacht welke soort verwarmingsinstallatie aanwezig is. In werkelijkheid kan het in plaats van aardgas ook om andere energiedragers (zoals warmtelevering) gaan. Later in de berekening maken we voor de besparing wel onderscheid naar het type verwarmingsinstallatie.

berekende energieverbruik van bedrijfshallen bedraagt 50 PJ. Dit verbruik bestaat voor 30 PJ uit elektriciteit en 20 PJ uit energieverbruik voor ruimteverwarming (voornamelijk aardgas). Het gebouwtype 'bedrijfshal zonder koeling' vertegenwoordigt circa de helft van het totale energieverbruik. Bij autobedrijf en datacenter zit ongeveer hetzelfde totale energieverbruik. Bij koel- en vrieshuizen en met name bij laboratoria zit een veel lager energieverbruik.

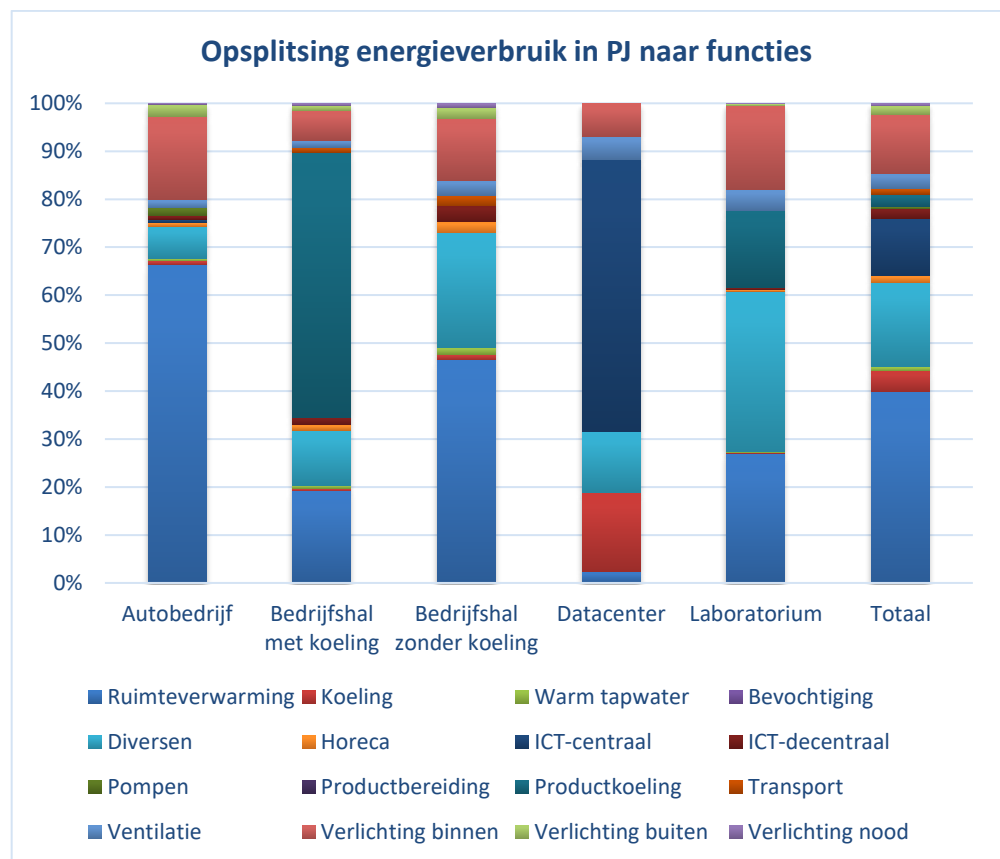


Figuur S2 Totaal bottom-up berekend energieverbruik per gebouwtype

De bottom-up berekening voor het totale energieverbruik van bedrijfshallen - als resultaat van het vermenigvuldigen van het vloeroppervlak met het energieverbruik per vierkante meter - komt uit op 50 PJ en is lager dan het energieverbruik uit een top-down benadering in de Klimaat en energieverkenning 2021 (PBL, 2021). Bij de top-down benadering wordt de CBS energiestatistiek per SBI-sector voor de dienstensector uitgesplitst naar gebouwtypen. De top-down benadering resulteert in een totaal energieverbruik van 82 PJ voor deze 5 typen bedrijfshallen. De hypothese is dat het verschil onder andere veroorzaakt wordt doordat er momenteel miljoenen vierkante meters bedrijfshal nog niet in kaart zijn gebracht in de CBS gebouwenmatrix, omdat het panden in de BAG betreft zonder adres, verblijfsobject en gebruiksoppervlakte. In de bottom-up berekening voor het energieverbruik van het gebouwtype 'bedrijfshal (met - en zonder koeling)' zijn de energie-intensiteiten uit het CBS dashboard voor logistieke gebouwen gebruikt en deze zijn veel lager dan de energie-intensiteiten gebruikt in de top-down benadering. Dit zijn redenen waarom het energieverbruik bottom-up lager uitkomt dan top-down. We rekenen in deze studie toch verder met de bottom-up berekening van het energieverbruik per gebouwtype. Reden daarvoor is dat de energie-intensiteiten (van logistieke gebouwen) realistischer zijn voor bedrijfshallen aangezien deze beter passen bij gebouwen die matig of slechts gedeeltelijk verwarmd worden. De mogelijke besparingspotentieel is daardoor in ieder geval niet overschat. Het werkelijke besparingspotentieel is daardoor wel groter dan in deze studie berekend is (vanwege het missende gebruiksoppervlak). Aan het einde van deze samenvatting wordt toegelicht wat het besparingspotentieel is wanneer wel gerekend zou worden met het top-down energieverbruik per gebouwtype.

Energieverbruik naar energiefuncties

Het totale gas en elektriciteitsverbruik per gebouwtype is vervolgens onderverdeeld naar de belangrijkste energiefuncties. Het resultaat van deze onderverdeling per gebouwtype is weergegeven in Figuur S3. In Tabel S1 is dit weergegeven voor bedrijfshallen als totaal voor de belangrijkste energiefuncties. Het grootste deel van het totale energieverbruik bestaat uit het energiegebruik voor ruimteverwarming (vooral aardgas). Het grootste deel van het elektriciteitsgebruik zit bij overige toepassingen, gevolgd door binnenverlichting en ICT-centraal (servers van datacenters). Van het totale energieverbruik van bedrijfshallen van 50 PJ is naar schatting circa 30 PJ gebouwgebonden energieverbruik.



Figuur S3 Resultaat opsplitsing totaal energieverbruik (PJ) naar energiefunctie per gebouwtype

Tabel S1 Resultaat opsplitsing energieverbruik (PJ) naar functie per gebouwtype

Energiefunctie	Energieverbruik bedrijfshallen Totaal (PJ)
Ruimteverwarming	20,0
Ventilatie	1,6
Koeling	2,1
Productkoeling	1,3
Verlichting binnen	6,2
ICT-centraal	6,0
ICT-decentraal	1,0
Overig	11,9
Totaal	50,1

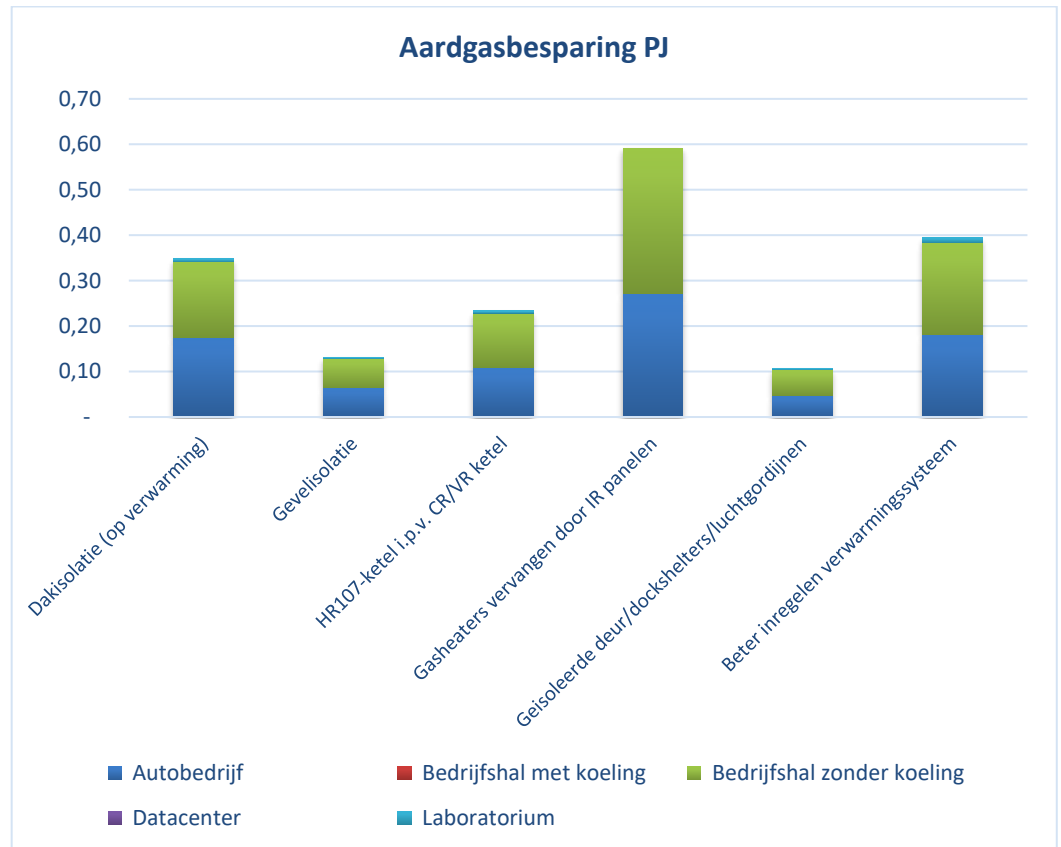
Energiebesparende maatregelen

Er zijn in totaal 20 maatregelen voor energiebesparing en 1 maatregel voor energieopwekking (zon-PV) doorgerekend. De maatregelen hebben betrekking op de belangrijkste energiefuncties (zoals ruimteverwarming en verlichting), maar zijn soms ook gebouw-specifiek zoals ICT-maatregelen voor datacenters en productkoeling maatregelen voor koel- en vrieshuizen. Een aantal van de maatregelen (zoals verlichtingsregelingen en koeling voor datacenters) bestaat uit twee of meer sub-maatregelen welke zijn gecombineerd tot één maatregel. Het besparingspotentieel per maatregel is berekend t.o.v. de status van getroffen maatregelen in de gebouwvoorraad in 2020. In de berekening van de besparing per maatregel is rekening gehouden met:

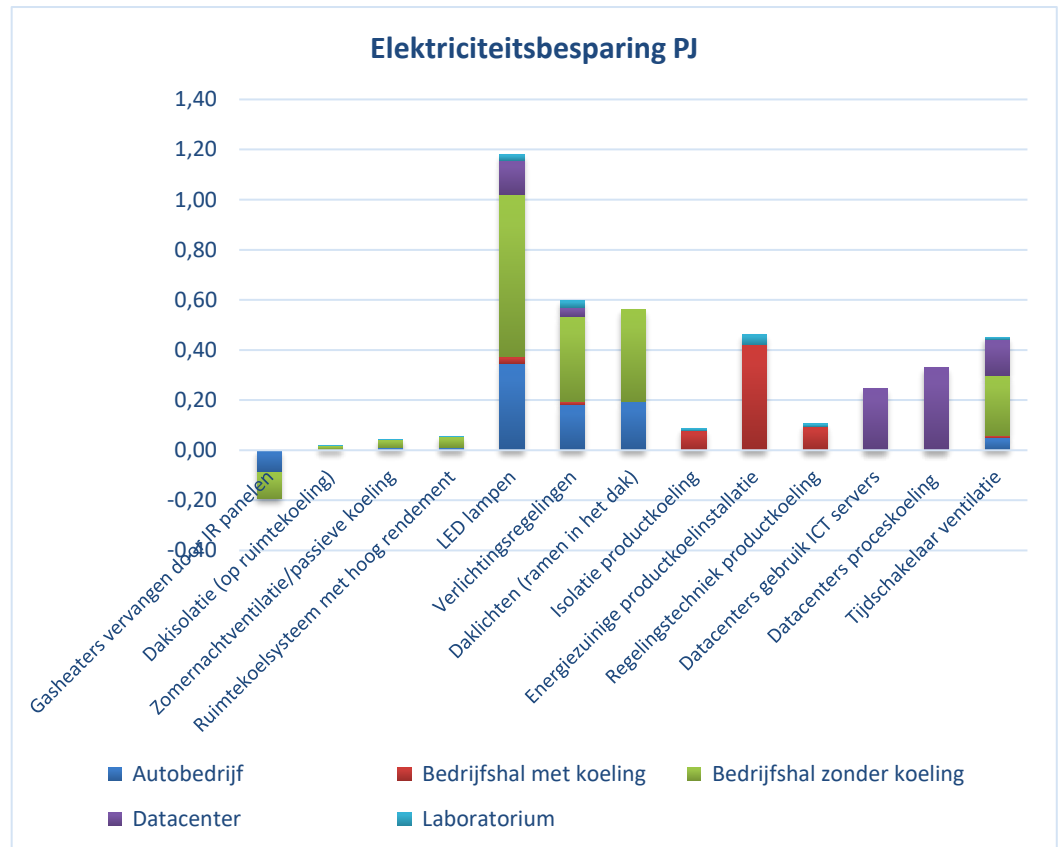
- Of een maatregel toepasbaar is voor een specifiek gebouwtype. Wat afhangt van of gebouwen verwarmd, vorstvrij gehouden of gekoeld worden, welke energiefuncties aanwezig zijn, en of er benutting van daglicht mogelijk is.
- De penetratiegraad (%) van maatregelen in 2020. Er is steeds alleen gerekend met het deel van de vierkante meters dat de maatregel nog kan toepassen.
- Het soort ruimteverwarmingsinstallatie en ruimtekoelinstallatie dat aanwezig is in de gebouwen. Bepaalde maatregelen zijn alleen van toepassing voor het deel van de voorraad met een specifieke installatie in de uitgangssituatie.
- Het gegeven dat maatregelen die op dezelfde energiefunctie besparen interactie met elkaar hebben en daardoor elkaars besparing verminderen wanneer ze achter elkaar worden geïmplementeerd; de gebruikte besparingspercentages per maatregel zijn hiervoor gecorrigeerd.
- Dat de besparingspercentages op gas lager zijn in geval van een recentere bouwjaarklasse (i.e. een hoger isolatieniveau).

Resultaat: Besparingspotentieel

Het besparingspotentieel op aardgas (PJ) per maatregel met onderscheid naar gebouwtype is in Figuur S4 weergegeven. Deze besparingen mogen worden opgeteld. De elektriciteitsbesparing (PJ) en eventuele ontsparing op elektriciteit per maatregel en per gebouwtype is weergegeven in Figuur S5.



Figuur S4 Resultaat aardgasbesparing (PJ) per maatregel en per gebouwtype



Figuur S5 Resultaat elektriciteitsbesparing (PJ) per maatregel en per gebouwtype

Voor de op werktemperatuur verwarmde bedrijfshallen kan gasbesparing worden bereikt door na-isolatie, door het tegengaan van warmteverlies door deuropeningen en door het beter inregelen van de verwarmingsinstallatie. De besparing door hybride of all-electric warmtepompen, waartussen gekozen moet worden, mag er nog bij opgeteld worden. Daarnaast zijn er aardgasvrije verwarmingstechnieken zoals IR-panelen die op een deel van de voorraad van toepassing zijn. Voor bedrijfshallen die niet verwarmd worden op werktemperatuur zijn de besparingsopties op ruimteverwarming echter beperkt. We gaan daar wel uit van de toepassing van warmtepompen om aardgasvrij te worden.

Voor de besparing van warmtepompen is rekening gehouden met het type verwarmingsinstallaties dat aanwezig is; de gasbesparing geldt alleen voor de vierkante meters verwarmd met een gasketel die overstappen op een warmtepomp. Door over te gaan op hybride warmtepompen kan nog eens 5,9 PJ gas worden bespaard (waarvoor 2,1 PJ elektriciteit nodig is). Door in plaats hiervan over te gaan op all-electric warmtepompen kan 11,8 PJ gas worden bespaard (waarvoor 4,1 PJ elektriciteit nodig is). De totale gasbesparing van alle maatregelen inclusief all-electric warmtepompen komt daarmee uit op 13,6 PJ. Dit telt niet op tot het totale gasverbruik van 20 PJ, omdat we in die berekening hadden aangenomen dat alle gebouwen met gas verwarmd worden. Van de totale vierkante meters werd 63% verwarmd met gasketels³ en die zijn aardgasvrij geworden. Dan resteert nog 37% van het verbruik voor ruimteverwarming ofwel 7,4 PJ. Er blijft nu echter maar 6,4 PJ energieverbruik voor ruimteverwarming over. Dat komt omdat er ook nog aardgasbesparing is bij de voorraad die 'op werktemperatuur' verwarmd wordt met gas heaters en overschakelt op IR-panelen.

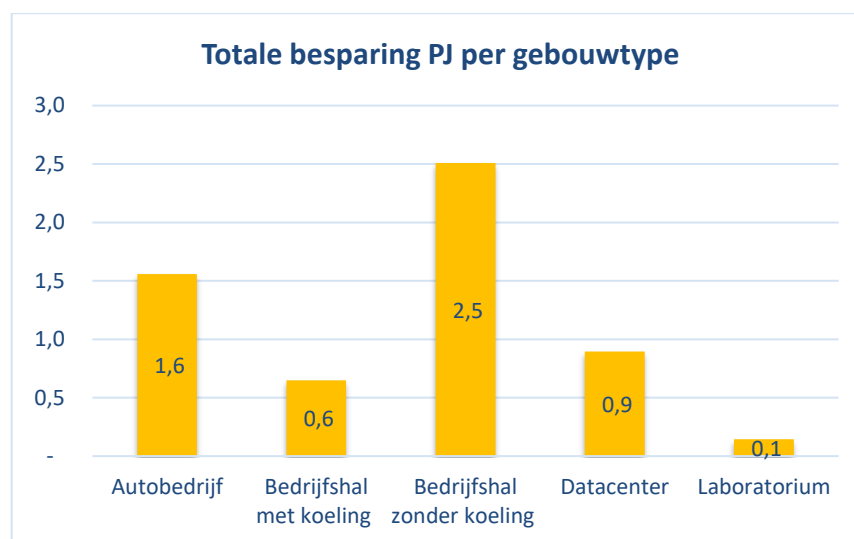
De grootste besparing op elektriciteit is mogelijk op verlichting door middel van LED verlichting, regelingen om branduren te verminderen en door beter gebruik te maken van daglicht.

Het totale besparingspotentieel op gas en elektriciteit van de maatregelen (exclusief warmtepompen) is 5,8 PJ. Hiervan is 1,8 PJ besparing op aardgas. De besparing is 11% van het totale energieverbruik (50 PJ). Dit resultaat is verklaarbaar als gevolg van onder meer de aannames over de toepasbaarheid van maatregelen, de (soms hoge) penetratiegraad van maatregelen en de onderverdeling van het energieverbruik naar functies. Een belangrijke reden voor de beperkte gasbesparing is dat bij het vorstvrije deel van de voorraad de maatregelen voor aardgasbesparing niet van toepassing zijn.

Figuur S6 laat zien hoe de totale besparing is onderverdeeld naar gebouwtype (dit is exclusief warmtepompen). De grootste besparing is mogelijk bij bedrijfshallen zonder koeling. Daarna zit de meeste potentiële besparing bij autobedrijven, gevolgd door datacenters, bedrijfshallen met koeling en laboratoria. Bedrijfshallen zonder koeling is het gebouwtype met veruit de meeste vierkante meters in de dienstensector en daardoor het hoogste totale energieverbruik. Dit ondanks het relatief lage energieverbruik per vierkante meter ten opzichte van andere gebouwtypen in de dienstensector. Het gegeven dat het energieverbruik per vierkante meter (op individueel pandniveau) zo laag is zal er wel voor zorgen dat

³ Een kennishiaat en daarom ook een aanbeveling is om te onderzoeken hoeveel gasverbruik (PJ) voor ruimteverwarming zit bij de verschillende soorten verwarmingsinstallaties bij bedrijfshallen.

het nemen van energiebesparende maatregelen hier minder kosteneffectief is (hogere terugverdientijd) dan bij andere gebouwtypen in de dienstensector die een hoger verbruik per vierkante meter hebben.



Figuur S6 Resultaat besparing (PJ) en per gebouwtype

Tabel S2 toont de totale besparing per energiefunctie ten opzichte van het totale energieverbruik (besparing is exclusief warmtepompen).

Tabel S2 Besparingspotentieel bedrijfshallen in totaal naar energiefunctie (exclusief warmtepompen)

Totaal bedrijfshallen	Energie-verbruik totaal (PJ)	Besparing op aardgas (PJ)	Besparing op elektriciteit (PJ)	Besparing totaal (PJ)	% Besparing op energiefunctie
Ruimteverwarming	20,0	1,8	-0,2	1,6	8%
Ventilatie	1,6	-	0,5	0,5	28%
Koeling	2,1	-	0,4	0,4	21%
Productkoeling	1,3	-	0,7	0,7	49%
Verlichting binnen	6,2	-	2,3	2,3	38%
ICT-centraal	6,0	-	0,2	0,2	4%
ICT-decentraal	1,0	-	-	-	0%
Overig	11,9	-	-	-	0%
Totaal	50,1	1,8	3,9	5,8	11%

Potentieel zon-PV op daken bedrijfshallen

In deze studie is een vereenvoudigde potentieelschatting gemaakt voor zon-PV op daken van bedrijfshallen. Deze is tot stand gekomen via een aantal aannames, namelijk 1) dat het dakoppervlak gelijk is aan het gebruiksoppervlak, 2) de geschiktheidsfactor (%) van het totale aantal daken o.b.v. de bouwjaarklasse/ constructiesterke, 3) het percentage benut dakoppervlak (%) door panelen ten opzichte van het dakoppervlak op de geschikte daken en 4) de zonnestroomproductie die er al is. De potentiële elektriciteitsopwekking met zonnepanelen op daken komt daarmee uit op 42 PJ per jaar.

Resultaat: CO₂-reductie

De totale CO₂-reductie door **aardgasbesparing** komt voor de energiebesparende maatregelen exclusief warmtepompen uit op 0,1 Mton. De **indirecte CO₂-reductie door elektriciteitsbesparing** van de maatregelen komt uit op 0,3 Mton (uitgaande van de elektriciteitsmix in 2020). Door toepassing van hybride warmtepompen kan hier 0,3 Mton directe CO₂-reductie bij door aardgasbesparing aan worden toegevoegd. Daarbij hoort dan een toename van +0,2 Mton indirecte CO₂-uitstoot door toename van de elektriciteitsvraag. Door dit in plaats van met hybride met all-electric warmtepompen te doen levert dit 0,7 Mton directe CO₂-reductie op en +0,2 Mton extra indirecte CO₂-uitstoot. Dit kan een bijdrage leveren aan de 1 Mton directe CO₂-reductie doelstelling voor utiliteitsbouw voor 2030 uit het Klimaatakkoord. Door het volledige potentieel voor zon-PV te realiseren wordt (uitgaande van de elektriciteitsmix in 2020) nog eens 3,5 Mton indirecte CO₂-reductie door elektriciteitsbesparing bereikt.

Additionele besparing

De besparingen (en CO₂-reductie) zijn echter niet volledig additioneel t.o.v. de Wet milieubeheer of t.o.v. het autonome tempo. Door te kijken welke maatregelen op de erkende maatregelen lijsten (EML) staan, en die te beschouwen als niet-additioneel, is geanalyseerd hoeveel additionele besparing er is t.o.v. de Wet milieubeheer. De inschatting hiervoor is 1,5 PJ. Dit is exclusief warmtepompen en zon-PV die volledig additioneel zijn t.o.v. de Wet milieubeheer.

Om een idee te krijgen over de additionaliteit t.o.v. het autonome tempo voor maatregelen die buiten de Wet milieubeheer vallen is gekeken naar de aantallen maatregelen die jaarlijks door bedrijfshallen genomen worden in de RVO Monitoring Energiebesparing Gebouwde Omgeving. Zo gaat het voor platdakisolatie bij bedrijfshallen jaarlijks om circa 1% van de voorraad in vierkante meters gebruiksoppervlak. Dit is het type isolatie-maatregel dat hier het frequentst (qua aantal maatregelen) wordt toegepast, naast het plaatsen van HR ketels en zon-PV. Voor de niet-EML maatregelen zoals isolatie, warmtepompen is er nog veel ruimte voor een versnelling van het tempo waarin deze maatregelen genomen worden.

BENG-eisen voor nieuwbouw

In deze studie is ook berekend wat het aan besparing oplevert wanneer nieuwe bedrijfshallen gebouwd vanaf 2021 t/m 2030 aan de BENG-eisen moeten voldoen. Dat kan door toepassen van all-electric warmtepompen, maatregelen voor verlichting, ruimtekoeling en ventilatie, en (extra) zon-PV. Het resultaat is dat toepassing van all-electric warmtepompen 0,3 PJ extra gasbesparing oplevert en 0,1 PJ extra elektriciteitsgebruik. Netto dus een extra besparing van 0,2 PJ. Toepassing van zon-PV op geschikte daken zorgt voor 0,1 PJ extra productie aan zonnestroom (dit kan 4 PJ zijn als de daken vol liggen). De extra besparing haalbaar door maatregelen voor verlichting, ruimtekoeling en ventilatie is 0,1 PJ.

Conclusies

De belangrijkste resultaten van dit onderzoek zijn:

- Er is in totaal circa 6 PJ (11%) besparingspotentieel mogelijk bij bestaande bedrijfshallen waarvan 2 PJ op aardgas. Dit is exclusief de besparing die kan worden bereikt door toepassing van warmtepompen. Door over te gaan op all-electric warmtepompen kan nog eens 11,8 PJ aardgas worden bespaard (waarvoor 4,1 PJ elektriciteit nodig is).

- De maatregelen waar het grootste besparingspotentieel zit is all-electric of hybride warmtepompen, overige maatregelen voor ruimteverwarming en verlichtingsmaatregelen.
- De grootste besparing is mogelijk bij bedrijfshallen zonder productkoeling, gevolgd door autobedrijven, datacenters, koel- en vrieshuizen en laboratoria.

Aanbevelingen voor beleid

- De Wet milieubeheer verplicht instellingen al tot het nemen van maatregelen die zich binnen 5 jaar terugverdienen. Voor de maatregelen die al op de EML staan hebben aanvullende beleidsmaatregelen geen zin. Voorwaarde daarbij is natuurlijk wel dat de uitvoering van deze maatregelen gehandhaafd wordt door het bevoegd gezag.
- Voor niet-EML maatregelen zoals isolatie, warmtepompen en zon-PV ligt dit anders. Deze (duurdere) maatregelen staan momenteel niet op de EML en zijn dus niet verplicht om toe te passen omdat de terugverdientijd hiervan langer is dan 5 jaar (NB: dit zou inmiddels al niet meer zo hoeven te zijn voor een aantal van deze maatregelen vanwege de hogere gasprijzen in 2022). Voor maatregelen met een langere terugverdientijd is de Energie-investeringsaftrek (EIA) voor ondernemers van toepassing. Deze regeling zorgt ervoor dat ondernemers 45,5% van de investeringskosten kunnen aftrekken van hun winst. Dit zorgt voor ca 11% belastingvoordeel (RVO, 2022b). Momenteel is het tempo waarin maatregelen als isolatie, warmtepompen en zon-PV genomen worden nog beperkt. Het is met de huidige gasprijzen te verwachten dat komende tijd meer geïnvesteerd zal worden in deze maatregelen. Het is mogelijk om meer financiële beleidsinstrumenten in te zetten als de uitvoering van maatregelen toch onverhoopt achterblijft. Hierbij valt te denken aan subsidies en een verhoging van de energiebelasting op aardgas. Verder kunnen informatiecampagnes helpen in de bewustwording over verduurzaming bij investeerders.
- Voor bestaande bedrijfshallen een energieprestatie maat (vergelijkbaar aan de energielabel-methode/NTA8800 methode) te ontwikkelen helpt om het besparingspotentieel beter in kaart te brengen. Dit helpt met gebouwen te scoren op de energieprestatie en om besparingsopties te identificeren. Het is in een bepalingmethode voor bedrijfshallen essentieel rekening te houden met de typering van de verwarming. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt tussen verwarmde, vorstvrij gehouden en gekoelde delen van het gebouw (deze gebieden van elkaar scheiden is een belangrijke besparende maatregel). Belangrijk is ook rekening te houden met verwarming van het gehele gebouw of alleen lokale verwarming van werkplekken.
- Meer focus voor zon-PV op daken is een goed idee, maar de hoge terugverdientijd vanwege de lage tarieven voor middelgrote- en grote verbruikers is waarschijnlijk een belemmering om zelf te investeren. Daken beschikbaar stellen aan derden (projectontwikkelaars) tegen een huurtarief is mogelijk een manier om de beschikbare daken in te zetten. Ook kan gedacht worden aan aanvullend beleid dat het benutten van daken van bedrijfshallen voor zonnepanelen interessanter maakt dan zonneweides in landbouwgebied.
- Door prestatie-eisen te stellen aan nieuwbouw kan de toepassing van warmtepompen en zonnepanelen bij nieuwe bedrijfshallen worden gestimuleerd. Bedrijfshallen zijn het snelst groeiende bouwtype in de dienstensector.

Belangrijkste kennishiaten en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De belangrijkste kennishiaten in dit onderzoek hebben betrekking op de inschatting van het totale energieverbruik van bedrijfshallen. Dit is gerelateerd aan het gebruiksoppervlak en de energie-intensiteiten per gebouwtype. Om het verbruik beter in kaart te brengen moeten de gegevens over de voorraad bedrijfshallen in de CBS gebouwmatrix bijgewerkt worden door de nu missende vierkante meters van vbo's zonder adres toe te voegen. Verder is het nodig om de representativiteit van de energie-intensiteiten voor de gehele voorraad bedrijfshallen, met name die van logistieke gebouwen voor de voorraad 'bedrijfshal zonder koeling', nader te analyseren. Hiervoor zijn nieuwe energie-kentallen studies nodig.

Wanneer in dit onderzoek gerekend zou worden met 82 PJ als totaal energieverbruik voor bedrijfshallen o.b.v. de statistiek (top-down) en voor de rest identieke aannames, dan zou het totale besparingspotentieel uitkomen op 9 PJ, waarvan 3 PJ besparing op aardgas (exclusief warmtepompen). Dit zou zelfs op 24 PJ gasbesparing uitkomen wanneer alle gasketels zouden worden vervangen door all-electric warmtepompen (en 1,4 Mton directe CO₂-reductie door aardgasbesparing). Dit laat zien dat hierdoor circa een factor 1,5 verschil in uitkomsten kan ontstaan.

De grootste besparing is mogelijk bij bedrijfshallen zonder productkoeling. Het is nodig om tot beter begrip te komen wat hier naast logistiek nog meer onder valt en welke energieverbruik achter deze gebouwen schuil gaat.

Voor een betere inschatting van de potentiële besparing op ruimteverwarming is meer inzicht vereist in hoe bedrijfshallen verwarmd worden: Wat betekent verwarmen op werktemperatuur en vorstvrij houden precies? Welke temperatuur hoort daarbij? Wordt het gehele gebouw verwarmd of alleen lokaal? Welke soorten installaties verwarmen welk aandeel (%m²) van het gebouw? Er moet een inschatting gemaakt worden hoeveel PJ aardgas bij welke soort verwarmingsinstallatie zit. Aanbeveling is dan ook om hier vervolgonderzoek naar te doen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	14
1.1	Aanleiding voor dit onderzoek	14
1.2	Doel onderzoek en onderzoeksvragen	14
2	Onderzoeksmethode	15
3	De gebouwvoorraad	19
3.1	Afbakening doelgroep besparingspotentieel	19
3.2	Onderverdeling naar gebouwtype	21
3.3	Koel- en vrieshuizen	23
3.4	Onderverdeling naar verwarmd, vorstvrij, gekoeld	25
3.5	Onderverdeling naar bouwjaarklasse	27
4	Energieverbruik	30
4.1	Energie kentallen	30
4.2	Bottom-up inschatting energieverbruik	31
4.3	Top-down inschatting energieverbruik en keuze uitgangspunt	34
4.4	Onderverdeling energieverbruik naar energiefunctie	34
5	Energiebesparing	38
5.1	Meegenomen energiebesparende maatregelen	38
5.2	Toepasbaarheid energiebesparende maatregelen	39
5.3	Besparingskentallen maatregelen	44
5.4	Besparingspotentieel met verdere onderverdelingen	47
5.5	Bereikte CO ₂ -emissiereductie.....	51
5.6	Additionaliteit t.o.v. Wet milieubeheer en autonome tempo	52
6	Conclusies.....	55
6.1	Conclusies bestaande bouw.....	55
6.2	Besparing wanneer nieuwbouw voldoet aan de BENG eisen	56
7	Kennishiaten en aanbevelingen beleid en vervolgonderzoek	58
7.1	Kennishiaten	58
7.2	Aanbevelingen vervolgonderzoek	58
7.3	Aanbevelingen voor beleid	60
	Referentielijst	62
	Bijlage(n)	
	A Detailoverzichten aannames	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor dit onderzoek

Uit het jaarlijkse Panteia monitoringsonderzoek onder utiliteitsgebouwen blijkt dat in bedrijfshallen minder energiebesparende maatregelen worden genomen dan in andere gebouwtypen (Panteia, 2021). Het belang om ook naar energiebesparing in bedrijfshallen te kijken in het kader van de klimaatdoelstellingen voor de dienstensector wordt duidelijk zodra we ons realiseren hoe omvangrijk deze sector is binnen de dienstensector. Bedrijfshallen zijn het gebouwtype met grootste gebruiksoppervlakte en het hoogste totale (finale) energieverbruik in de dienstensector (ECN, 2017). Om deze redenen ligt hier mogelijk een hoog besparingspotentieel. Er is echter nog steeds weinig bekend over de precieze invulling van het energieverbruik binnen bedrijfshallen en hoeveel besparing diverse maatregelen op zullen opleveren. Bedrijfshallen hebben geen energielabels. Daarnaast vallen bedrijfshallen ook niet onder energieprestatie-eisen voor nieuwbouw (geen BENG eisen voor de functie 'industrie' in de hal) en worden er alleen isolatie-eisen gesteld aan 'nieuwe' bedrijfshallen die verwarmd en gekoeld worden voor verblijven van personen.

Het is momenteel nog niet duidelijk of additioneel beleid naast de Wet milieubeheer zin heeft. Hiervoor moet eerst beter in kaart worden gebracht bij welke maatregelen het potentieel zit. Dit heeft betrekking op de bestaande voorraad. Voor nieuwbouw is de vraag wat het besparingspotentieel is wanneer nieuwe bedrijfshallen aan BENG eisen moeten voldoen. Tot slot zijn er kennishiaten over energiebesparing bij bedrijfshallen die we via dit onderzoek willen opvullen of juist aan het licht willen brengen.

1.2 Doel onderzoek en onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is een verkenning naar het besparingspotentieel in bedrijfshallen.

De volgende onderzoeksvragen staan hierin centraal:

1. Wat is het besparingspotentieel in de bestaande voorraad bedrijfshallen?
2. In welke gebouwtypen en bij welke maatregelen zit dit besparingspotentieel?
3. Wat zijn de onzekerheden bij de bepaling van dit besparingspotentieel?
4. Welk deel van dit besparingspotentieel is additioneel ten opzichte van verwachte ontwikkelingen zoals geschetst in de Klimaat en energieverkenning 2021? Hebben aanvullende beleidsmaatregelen zin naast de Wet milieubeheer?
5. Wat is het besparingspotentieel wanneer nieuwe bedrijfshallen aan de BENG eisen (energieprestatie-eisen nieuwbouw) moeten voldoen?

2 Onderzoeksmethode

Om het besparingspotentieel te bepalen zijn meerdere analyses nodig, bestaande uit:

- Inventariseren gebouwvoorraad
- Inschatting energieverbruik naar gebouwtype
- Inschatting verdeling energieverbruik naar energiefuncties
- Berekening potentiële besparing per maatregel
- Conclusies, aanbevelingen beleid en oplossen kennishiaten

Dit hoofdstuk beschrijft de gevolgde stappen en de gebruikte gegevens.

Inventariseren gebouwvoorraad

Als eerste is de gebouwvoorraad van bedrijfshallen in de dienstensector geïnterpreteerd. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de CBS gebouwmatrix over het aantal vbo's en gebruiksoppervlak per gebouwtype en naar SBI sector (CBS, 2021a). Er zijn 4 bedrijfshal-gebouwtypen onderscheiden binnen de gebouwmatrix: autobedrijven, laboratoria, bedrijfshallen en datacenters. Om onderscheid te maken naar bedrijfshallen zonder - en met productkoeling (de koel- en vrieshuizen) is onderzocht om hoeveel gebruiksoppervlak aan koel- en vrieshuizen het gaat. Het vloeroppervlak uit de inventarisatie van Savills (Savills, 2021) is uiteindelijk als rekenwaarde gekozen. Dit geeft 5 gebouwtypen waar deze studie zich op richt.

Het gebruiksoppervlak per gebouwtype is onderverdeeld naar 'verwarmd', 'vorstvrij' en 'gekoeld'. Allereerst stellen we vast dat een datacenter proceskoeling heeft en een 'bedrijfshal met koeling' over productkoeling beschikt. Deze gebouwtypen categoriseren we daarom als 'gekoeld'. Daarnaast nemen we aan dat laboratoria verwarmd worden. Voor bedrijfshallen (zonder koeling) en autobedrijven is gebruikt gemaakt van database cijfers uit het Panteia monitoringsonderzoek onder bedrijfshallen (Panteia, 2021). Hiermee is gekwantificeerd hoeveel procent van deze gebouwen verwarmd worden op werkteemperatuur. Aanname die we doen is dat de rest vorstvrij wordt gehouden. We nemen aan dat ieder gebouw een verwarmingsinstallatie heeft voor het vorstvrij houden.

Het gebruiksoppervlak per gebouwtype is onderverdeeld naar drie bouwjaarklassen te weten 'voor 1992', '1992 t/m 2011' en 'vanaf 2012'. De bouwjaarklassen zijn zo gekozen omdat in 1992 voor het eerst isolatie-eisen in het bouwbesluit zijn opgenomen en deze in 2012 zijn aangescherpt. Hierbij is gebruikt gemaakt van de voorraadontwikkeling uit de KEV2021 voor autobedrijf, laboratorium en datacenter. Voor het gebouwtype bedrijfshal is de BAG geraadpleegd en is gekeken naar gebouwen met de gebruiksfunctie 'Industrie'. Deze inschatting is niet helemaal correct, omdat in de BAG ook gebouwen zitten die buiten de dienstensector vallen. Het viel echter buiten de scope van dit project hier verdere analyses op te doen.

Inschatting energieverbruik naar gebouwtype

Vervolgens is per gebouwtype een bottom-up berekening gemaakt van het totale energieverbruik voor aardgas en elektriciteit. Het gebruiksoppervlak in m² is hierbij vermenigvuldigd met de gemiddelde energieverbruiken per m². Daarbij is rekening gehouden met de segmentering van het gebruiksoppervlak en differentiaties in het gemiddelde energieverbruik per m² per segment.

Vanuit de KEV2021 is via een top-down onderverdeling van het totale energieverbruik in de dienstensector naar gebouwtype ook bekend hoeveel energieverbruik (PJ) naar bedrijfshallen gaat. Dit is bepaald door de vierkante meters uit de CBS gebouwenmatrix te vermenigvuldigen met de energie-intensiteit, zodanig dat het totaal energieverbruik uitkomt op de CBS energiestatistiek van de dienstensector. De top-down benadering komt op een aanzienlijk hoger energieverbruik van bedrijfshallen uit dan de bottom-up berekening.

De hypothese is dat het verschil onder andere veroorzaakt wordt doordat er momenteel miljoenen vierkante meters bedrijfshal nog niet in kaart zijn gebracht in de CBS gebouwenmatrix, omdat het panden in de BAG betreft zonder adres, verblijfsobject en daardoor ook geen gebruiksoppervlakte. Dit houdt in dat de werkelijke voorraad bedrijfshallen groter is dan in deze studie is aangegeven. Ten tweede hebben we in de bottom-up benadering voor bedrijfshal zonder koeling de energie-intensiteiten uit het CBS dashboard logistiek aangehouden (CBS, 2021b). Dit dashboard voor logistieke gebouwen laat relatief lage energie-intensiteiten zien in vergelijking tot andere gebouwtypen in de dienstensector (zie ECN, 2016). Met name voor aardgas zijn intensiteiten $< 4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ relatief laag ten opzichte van wat is aangenomen in de KEV voor dit type bedrijfshal, wat erop duidt dat logistieke gebouwen vaak slechts gedeeltelijk en/of op een relatief lage temperatuur verwarmd worden.

Als uitgangspunt kiezen we er nu toch voor de bottom-up methode te volgen. De reden is dat die energie-intensiteiten voor logistieke gebouwen betrouwbaarder zijn dan de omhoog gecorrigeerde intensiteiten gebruikt voor het energieverbruik in de Klimaat- en energieverkenning. Deze lagere intensiteiten passen beter bij gebouwen die matig of slechts gedeeltelijk verwarmd worden. Op deze manier wordt de besparing in ieder geval niet overschat. Wel laten we aan het eind ook zien hoe hoog de besparing wordt als gerekend zou worden met 82 PJ.

Inschatting verdeling verbruik naar energiefuncties

Het totale gas- en elektriciteitsverbruik per gebouwtype is vervolgens onderverdeeld naar de belangrijkste energiefuncties. Dit is gedaan op basis van bronnen die opsplitsingen naar energiefuncties maken van het werkelijke verbruik voor deze gebouwtypen.

Berekening potentiële besparing per maatregel

In dit onderzoek hebben we het besparingspotentieel van 21 maatregelen berekend. De maatregelen hebben betrekking op de belangrijkste energiefuncties (zoals ruimteverwarming en verlichting), maar zijn soms ook gebouw-specifiek zoals ICT-maatregelen voor datacenters en een aantal productkoeling maatregelen voor koel- en vrieshuizen. Het maatregel-overzicht is weergegeven in paragraaf 5.1.

Het besparingspotentieel per maatregel en per gebouwtype is berekend t.o.v. de status van getroffen maatregelen in de gebouwvoorraad in 2020. In de berekening van de besparing per maatregel is verder rekening gehouden met:

- **Of een maatregel toepasbaar is voor een specifiek gebouwtype.** Dit hebben we ingeschat aan de hand van of gebouwen verwarmd, vorstvrij gehouden of gekoeld worden, welke energiefuncties aanwezig zijn, en of daglicht beter benut kan worden.

- **De huidige toepassing (%) van maatregelen in 2020.** Er is steeds alleen gerekend met het deel van de vierkante meters dat de maatregel nog kan toepassen. De penetratiegraden van maatregelen zijn afkomstig uit de datasets van het Panteia monitoringsonderzoek (Panteia, 2021) en van RVO uit de informatieplicht over de toepassing van erkende maatregelen.
- **Het soort ruimteverwarmingsinstallatie en ruimtekoeinstallatie dat aanwezig is in de gebouwen in de uitgangssituatie.** Dit is gebaseerd op de dataset van het Panteia onderzoek (Panteia, 2021). Bepaalde maatregelen zijn alleen van toepassing voor het deel van de voorraad met een specifieke installatie in de uitgangssituatie.
- **De overlap in besparing tussen maatregelen die op dezelfde energiefunctie besparen.** De gebruikte besparingspercentages per maatregel zijn hiervoor gecorrigeerd. Er wordt steeds procentueel bespaard op het resterend verbruik na het nemen van de vorige maatregelen. Bijvoorbeeld maatregel 1 bespaart 20% op een bepaalde energiefunctie en maatregel 2 ook, dan is de besparing van de tweede maatregel op het initieel verbruik nog maar 16%. Per energiefunctie zijn de besparende maatregelen die hierop van toepassing zijn in een bepaalde volgorde doorgerekend en daarmee zijn de besparingspercentages ten opzichte van het initieel verbruik bepaald.
- **Dat de mate van isolatie per bouwjaarklasse bepalend is voor de besparing die met na-isolatie nog mogelijk is.** Voor de gasbesparing op ruimteverwarming wordt bijvoorbeeld voor na-isolatie gerekend met lagere besparingspercentages bij een recentere bouwjaarklasse. De besparing vanaf ongeïsoleerd is gebaseerd op kentallen in de EnergiePotentieelScan (EPS) bedrijventerreinen van TNO. Voor de andere twee bouwjaarklassen is een inschatting gemaakt hoeveel minder de besparing is.

In deze studie is een vereenvoudigde potentieelschatting gemaakt voor zon-PV op daken van bedrijfshallen. Deze is tot stand gekomen via een aantal aannames, namelijk 1) dat het gebruiksoppervlak gelijk staat aan het dakoppervlak, 2) de geschiktheidsfactor (%) van het totale aantal daken o.b.v. bouwjaarklasse/constructiesterkte, 3) het percentage benut dakoppervlak (%) door panelen ten opzichte van het dakoppervlak op geschikte daken en 4) de zonnestroom productie die er al is. Aannames voor 2) en 3) zijn afkomstig van een studie uitgevoerd voor de TKI Urban Energy over constructieve beperkingen voor zonnepanelen op daken (SYSTEMIQ et al., 2021). Aanname voor 4) is ontleend aan de totale zonnestroom productie in de dienstensector uit de CBS energiebalans (CBS, 2021c). In de onderverdeling naar SBI sector is te zien hoeveel zonnestroom wordt geproduceerd in de sectoren G (handel) (en H (vervoer en opslag)). Dit zijn overwegend bedrijfshallen, daarom trekken we dit af van het potentieel.

De resulterende CO₂-reductie voor de maatregelen is ook berekend. De directe CO₂-reductie door aardgasbesparing is berekend met de emissiefactor van aardgas. Deze is 56,4 kg CO₂/GJ (RVO, 2020d). De indirecte CO₂-reductie door elektriciteitsbesparing is berekend ervan uitgaande dat de elektriciteit met de integrale productiemix in Nederland wordt opgewekt in 2020. De emissiefactor uit de Klimaat- en Energieverkenning 2021 (PBL, 2021) is hiervoor gehanteerd (deze is ca 0,3 kg CO₂/kWh ofwel 83,3 kg CO₂/GJ).

Conclusies, aanbevelingen beleid en vervolgstudie

De additionaliteit van de maatregelen t.o.v. de energiebesparingsplicht uit de Wet milieubeheer is bepaald door na te gaan of deze op de erkende maatregelen lijst (EML) van gebouwen in deze branches staan. Van EML maatregelen is hier verondersteld dat deze onder huidig beleid al worden uitgevoerd. Maatregelen die hier buiten vallen beschouwen we als additioneel. Voor niet-EML maatregelen (isolatie, warmtepompen, zon-PV) is gekeken naar de RVO Monitoring energiebesparing gebouwde omgeving en hoeveel maatregelen daarin jaarlijks genomen worden.

Gegeven de kennishiaten en onzekerheden die er nog zijn bij bedrijfshallen zijn vervolgens conclusies getrokken over de resultaten voor de bestaande bouw en aanbevelingen gegeven voor beleid en vervolgstudie.

Tot slot is voor nieuwe bedrijfshallen berekend wat het besparingspotentieel is wanneer voor nieuwe bedrijfshallen aan BENG eisen moeten voldoen. De hoeveelheid nieuwbouw is bepaald door te kijken naar de toename van de vierkante meters in de KEV2021 in de periode 2021-2030. Omdat de BENG eisen voor bedrijfshallen nog moeten worden bepaald en wettelijk vastgelegd houden we rekening mee met enige tijd tot invoering van BENG-eisen voor bedrijfshallen. Een deel van de nieuwbouw in deze periode zal daarom nog niet aan de BENG eisen zal voldoen. Om te voldoen aan de BENG worden hoofdzakelijk warmtepompen, zonnepanelen en LED-verlichting toegepast. Hiervan is de besparing berekend uitgaande van volledig all-electric warmtepompen en 5 kWh/m² zon-PV. We veronderstellen dat de gebouwen al zeer goed geïsoleerd zijn, waardoor extra isolatie geen besparing oplevert.

3 De gebouwvoorraad

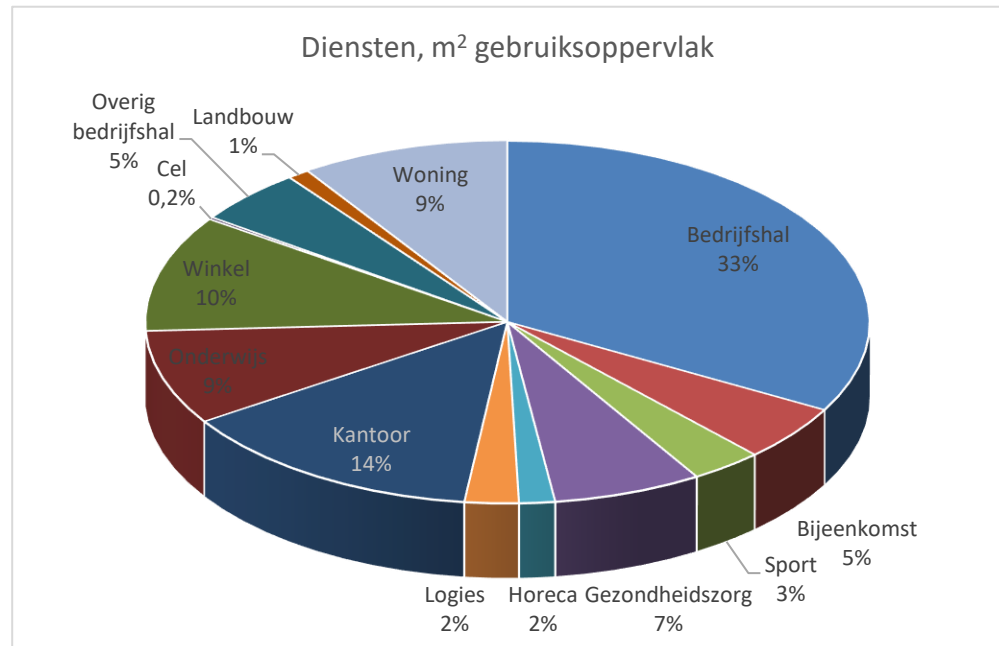
3.1 Afbakening doelgroep besparingspotentieel

Deze studie richt zich op 'bedrijfshallen' binnen de dienstensector. Bedrijfshallen betreft een containerbegrip waar diverse gebouwtypen en economische activiteiten onder vallen. Het gaat om gebouwen met een 'industriefunctie' in de BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen). De industrie functie in de BAG kan betrekking hebben op de volgende gebouwtypen (Brink, 2020): werkplaats, magazijn, fabriek, bedrijfshal, opslagruimte, stal, loods, tuinbouwkas, koel- of vrieshuis, grootkeuken, laboratorium, garage, brandweerkazerne, groothandel, datacentrum. Deze gebouwen hebben als voornaamste doel het bedrijfsmatig bewerken en opslaan van goederen.

Doordat deze studie zich richt op bedrijfshallen binnen de dienstensector vallen gebouwtypen in de landbouw (stal en tuinbouwkas) en industrie (o.a. fabriek) buiten beschouwing. De Standaard Bedrijfsindeling (SBI) is een door het Centraal Bureau voor de Statistiek van Nederland (CBS) ontworpen classificatie van economische activiteiten. Hierin worden de lettercodes A t/m U gebruikt om de hoofdsectoren aan te geven. Sectoren G t/m S + U vormen hierbij gezamenlijk de dienstensector.

Voor de inventarisatie van de gebouwvoorraad en afbakening van de doelgroep is gebruik gemaakt van de cijfers uit de CBS gebouwenmatrix (CBS, 2021a). In de gebouwenmatrix zijn de verblijfsobjecten⁴ (vbo's) en vierkante meters gebruiksoppervlak uit de BAG van gebouwen die niet gebruikt worden als woning onderverdeeld naar bouwtype en economische hoofdactiviteit. De bouwtypen zijn gebaseerd op het rekenmodel dat wordt gebruikt door TNO en PBL om voor de Klimaat en energieverkenning ramingen van de dienstensector te maken. Deze studie hanteert de cijfers voor 2020 als basis voor de potentieelberekening. Figuur 1 laat zien hoe de vierkante meters gebruiksoppervlak in de dienstensector zijn onderverdeeld naar bouwtype-categorieën. 'Bedrijfshal' en 'Overig bedrijfshal' vormen samen 38% van het gebruiksoppervlak.

⁴ Definitie verblijfsobject (CBS, 2021a): De kleinste binnen één of meer panden gelegen en voor woon-, bedrijfsmatige of recreatieve doeleinden geschikte eenheid van gebruik die ontsloten wordt via een eigen afsluitbare toegang vanaf de openbare weg, een erf of een gedeelde verkeersruimte, en die onderwerp kan zijn van goederenrechtelijke rechtshandelingen. Een verblijfsobject heeft minimaal één adres. In principe moet voor elk verblijfsobject een uniek adres bestaan: De gemeente is verplicht nummeraanduidingen (meestal huisnummers) toe te kennen aan verblijfsobjecten, standplaatsen en ligplaatsen. Een verblijfsobject wordt sinds de wet BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) onderscheiden als een eenheid van gebruik (bijvoorbeeld een woning, een winkel et cetera) binnen een of meerdere panden. Bij elk verblijfsobject hoort een huisnummer. Omgekeerd hoort een adres altijd bij een verblijfsobject, dan wel een standplaats of ligplaats.



Figuur 1: Dienstensector m² gebruiksoppervlak in 2020 (CBS, 2021a). Totaaloppervlak: 418 miljoen m² (inclusief leegstand). Bedrijfshal is hierin een aparte categorie (138 miljoen m²). Autobedrijf, datacenter en laboratorium (totaal 20 miljoen m²) vormen gezamenlijk de categorie 'Overig bedrijfshal'.

Er zijn 4 gebouwtypen in de gebouwenmatrix die te categoriseren zijn als gebouwen met een 'industriefunctie' namelijk autobedrijven, laboratoria, bedrijfshallen en datacenters. Op deze gebouwtypen richt deze studie zich. Verder onderscheid vereist detailgegevens die momenteel niet beschikbaar zijn. In deze studie wordt apart gekeken naar koel- en vrieshuizen (zie H3.3). In totaal richt deze studie zich daarmee op 5 verschillende typen bedrijfshallen.

Met de keuze van deze gebouwtypen negeren we het gebruiksoppervlak van verblijfsobjecten met een niet-industriefunctie die (eventueel) aanwezig zijn in of direct grenzend aan de betreffende gebouwen. Een concreet voorbeeld hiervan is het kleine kantoor dat zich aan de zijkant van de bedrijfshal bevindt. Dit wordt nu niet meegenomen in het gebruiksoppervlak, omdat deze in de gebouwmatrix onder gebouwtype 'kantoor' is ondergebracht. Dit betekent dat er niet naar de energetische verduurzaming van het gehele gebouw is gekeken, maar alleen naar het 'industrie' gedeelte van het gebouw. Wanneer het niet-industrie gedeelte (zoals een kantoor) onder dezelfde energiemeter valt is dit mogelijk wel meegenomen in de energie- intensiteiten voor gebouwtype bedrijfshal, wat leidt tot onzekerheid in de energie-intensiteit en dus in de inschatting van het energieverbruik voor het gebouwtype 'bedrijfshal'.

Een gebouw (of vbo) met een niet-industriefunctie (zoals een kantoor) dat zich naast de bedrijfshal bevindt (en er geen deel van uitmaakt) is ook niet meegenomen in de vierkante meters. Dit is voor deze studie een logische keuze, omdat deze studie zich richt op het 'gebouwtype' bedrijfshallen. In de praktijk delen verschillende vbo's (van een bedrijf) met verschillende gebruiksfuncties ook één energiemeter. Gevolg is dat in werkelijkheid een deel van de besparing bij bijvoorbeeld het gebouwtype kantoren zal zitten. Op onzekerheden in het

energieverbruik die ontstaan door het combineren van gebouwvoorraadcijfers met energie-intensiteiten per gebouwtype wordt uitgebreider stilgestaan in H4.

3.2 Onderverdeling naar gebouwtype

De onderverdeling van de vierkante meters bedrijfshallen in respectievelijk de utiliteitsbouw (alle sectoren) en dienstensector voor de gebouwtypen in deze studie is weergegeven in Tabel 1 en Tabel 2. Van de totale vierkante meters bedrijfshallen valt 61,4% binnen de dienstensector. Deze aandelen verschillen per gebouwtype; voor het gebouwtype bedrijfshal valt 60% in de dienstensector, waar dit percentage bij de andere bedrijfshal-gebouwtypen nog wat hoger ligt.

Tabel 1: Utiliteitsbouw gebouwvoorraad in 2020 (CBS, 2021a). Inclusief leegstand

Gebouwtype Save S	Aantal vbo's	1.000 m ² gebruiksoppervlak	Toelichting
Totaal utiliteitsbouw	1.274.916	589.455	SBI A t/m U
Bedrijfshal	444.793	231.514	SBI A t/m U
Autobedrijf	33.391	24.832	SBI A t/m U
Laboratorium	223	586	SBI A t/m U
Datacenter	180	1.045	SBI A t/m U
Rest utiliteitsbouw	796.329	331.478	Restpost

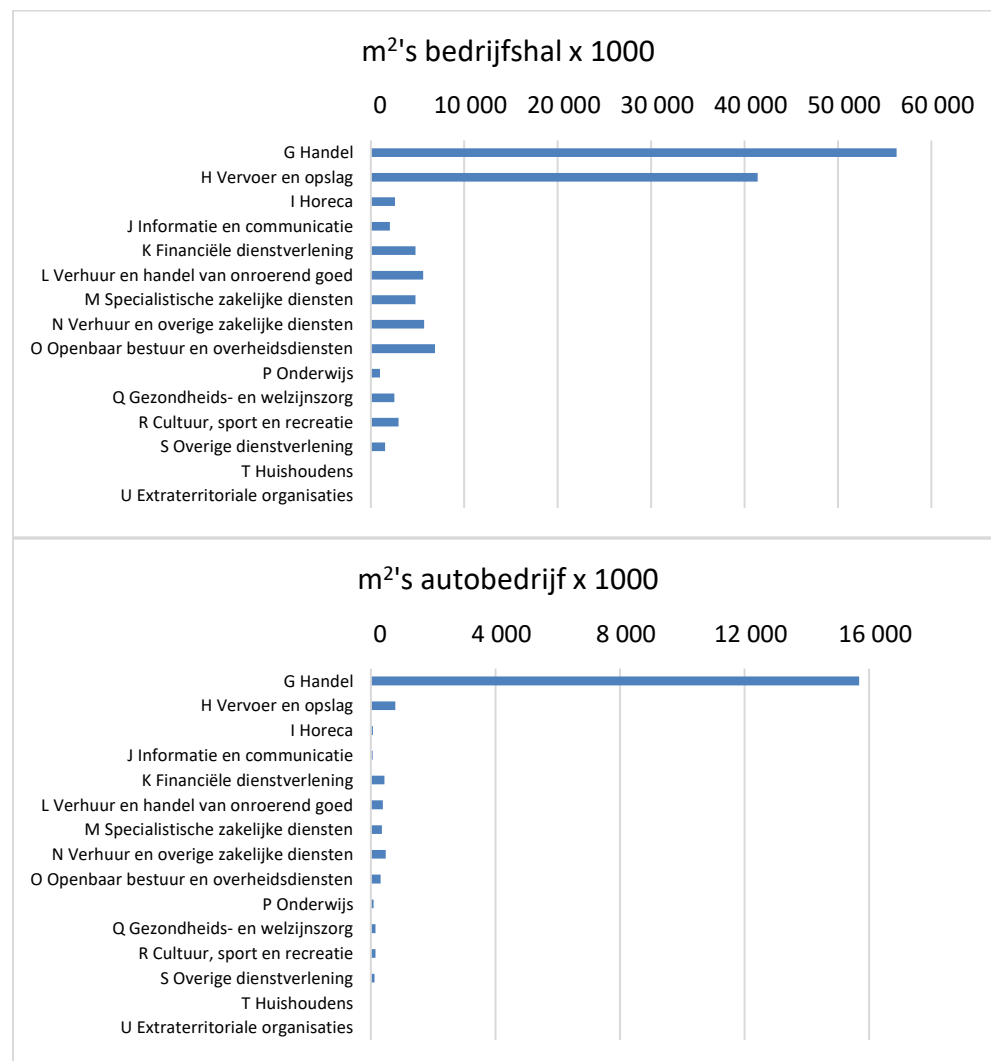
Het totaal aantal vierkante meters bedrijfshallen in de dienstensector is 158 miljoen m². Dit gebruiksoppervlak bestaat voor 87,1% uit bedrijfshallen, 12,0% uit autobedrijven, 0,6% uit datacenters en 0,3% uit laboratoria. Het gebouwtype 'bedrijfshal' is dus wat betreft vierkante meters veruit het grootst.

Tabel 2: Dienstensector gebouwvoorraad in 2020 (CBS, 2021a). Inclusief leegstand

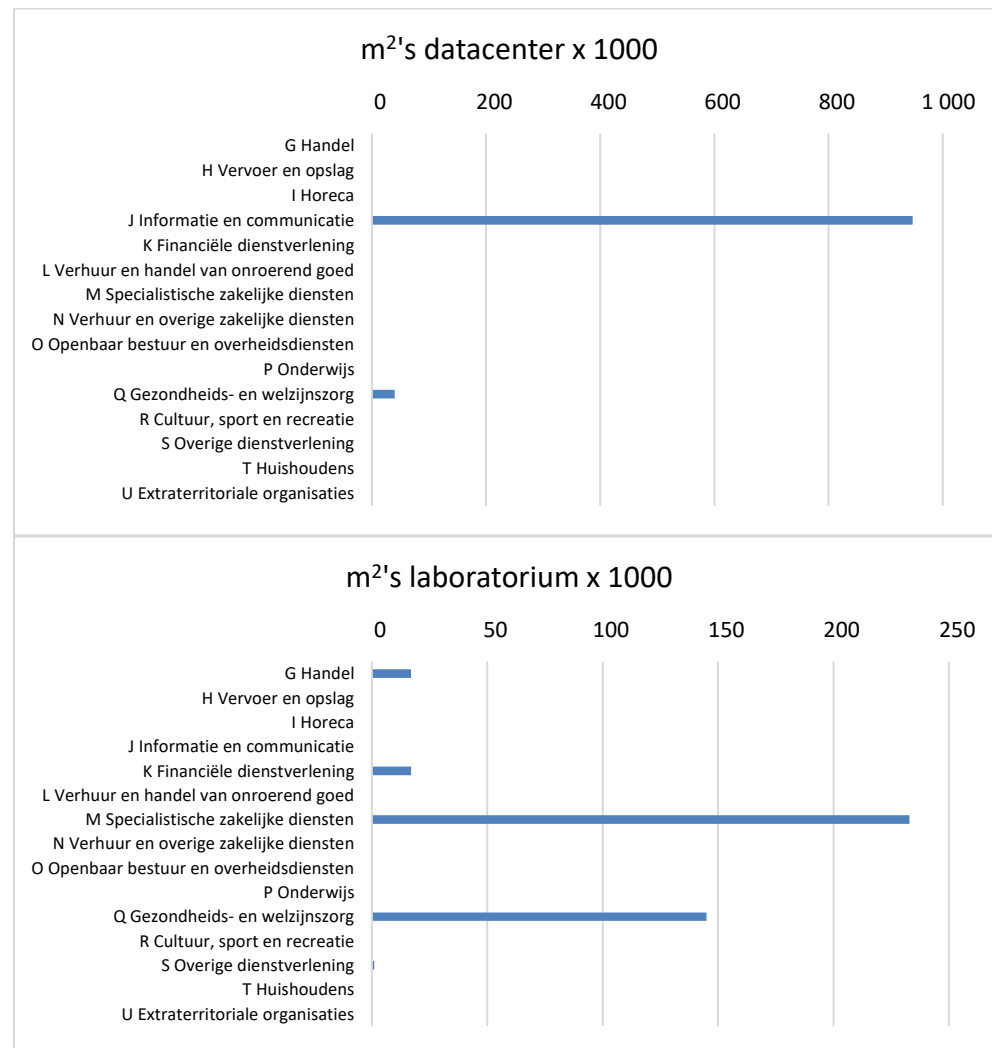
Gebouwtype Save S	Aantal vbo's	1.000 m ² gebruiksoppervlak	Toelichting
Totaal dienstensector	1.025.160	417.719	SBI G t/m S +U
Bedrijfshal	318.979	137.977	SBI G t/m S +U
Autobedrijf	26.576	19.064	SBI G t/m S +U
Laboratorium	178	413	SBI G t/m S +U
Datacenter	166	987	SBI G t/m S +U
Rest dienstensector	679.261	259.278	Restpost

In Figuur 2 worden de economische activiteiten conform de SBI 2008 indeling getoond per gebouwtype. Uit het eerste paneel over gebouwtype 'bedrijfshal' valt op te maken dat er diverse economische activiteiten plaatsvinden binnen dit gebouwtype vanwege het gegeven dat dit gebouwtype in vrijwel alle economische sectoren voorkomt. De voornaamste activiteiten zijn echter handel (SBI G) en vervoer- en opslag (SBI H). Daaruit valt ook op te maken dat onder meer de logistieke sector hierin vertegenwoordigd is. In een inventarisatie van de logistieke sector in Nederland door het bedrijf Savills wordt een totaal vloeroppervlak van 37,7 miljoen m² genoemd voor de gehele voorraad logistieke gebouwen in Nederland (Savills, 2021). Logistieke gebouwen vormen echter slechts een relatief beperkt

deel de totale voorraad bedrijfshallen⁵. Uit het tweede paneel voor 'autobedrijf' wordt duidelijk dat dit voornamelijk de economische activiteit G Handel betreft, maar dat dit gebouwtype ook in diverse andere economische sectoren voorkomt. Datacenters treffen we daarentegen aan in J Informatie en communicatie en voor een heel beperkt deel in Q Gezondheids- en welzijnszorg. Bij laboratoria valt op dat het om vijf verschillende SBI groepen gaat waarvan M Specialistische zakelijke diensten en Q Gezondheids- en welzijnszorg de grootste zijn. Deze laatste categorie betreft o.a. de medische laboratoria.



⁵ Dit toont ook direct het belang aan van meer onderzoek om de totale voorraad bedrijfshallen nog beter onderverdeeld naar gebouwtype in beeld te krijgen.



Figuur 2: Onderverdeling naar economische activiteiten voor 4 bedrijfstal-gebouwtypen in de dienstensector conform de SBI 2008 indeling. In m² gebruiksoppervlak in 2020 (CBS, 2021a).

3.3 Koel- en vrieshuizen

Aangezien het gebouwtype bedrijfstal veruit het grootste gebruiksoppervlak vertegenwoordigt binnen de doelgroep is een poging gedaan om het gebruiksoppervlak hiervan verder onder te verdelen naar bedrijfstallen zonder - en met productkoeling. Dit onderscheid is van belang voor het energieverbruik en daarmee voor het besparingspotentieel.

Verschillende bronnen geven direct of indirect informatie over de voorraad koel- en vrieshuizen in Nederland; dit hoeft echter niet per se betrekking te hebben op de gehele voorraad. Op drie manieren is het gebruiksoppervlak van de gehele voorraad bepaald. Deze methoden beschrijven we in deze paragraaf.

Ten eerste rapporteert Savills hoeveel m² in de sector logistiek 'gekoeld', 'verwarmd' en 'vorstvrij gehouden' wordt (Savills, 2021). Dit is bepaald door in de BAG een koppeling te maken met de SBI codes uit het handelsregister voor panden die vallen binnen de sector logistiek. Om het onderscheid naar gekoelde gebouwen

te maken is steeds per SBI code aangegeven of het hier om gebouwen met koeling gaat of niet. Uit deze inventarisatie blijkt in totaal 4,5 miljoen m² gekoeld te worden.

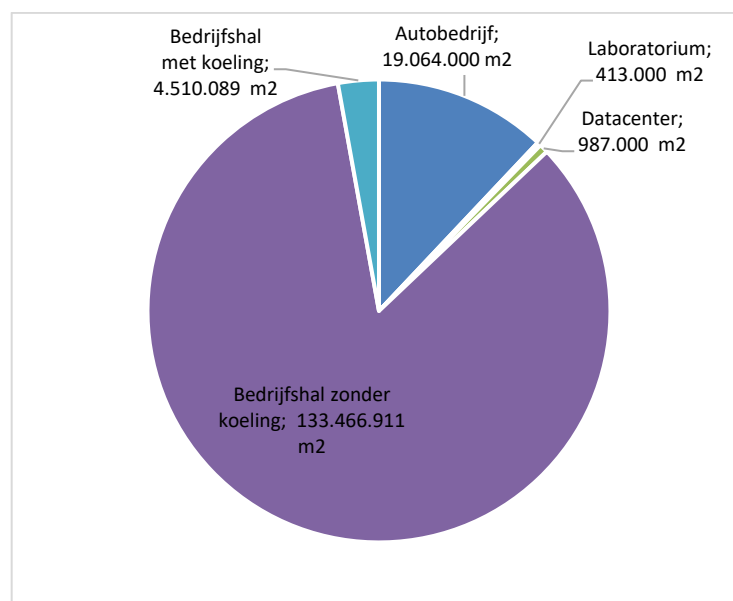
In de tweede methode is door Jeffrey Sipma (TNO) geanalyseerd hoeveel BAG oppervlak aan koel- en vrieshuizen er is door een optelling te maken van de gebouwen die behoren bij de adressenlijst van de leden van NEKROVI (NEKROVI, 2021). NEKROVI is de Nederlandse vereniging voor koel- en vrieshuizen. Ervan uitgaande dat het grootste deel van de koel- en vrieshuizen hierbij is aangesloten zou dit een beeld moeten geven van de omvang van de voorraad. Bij het optellen van de oppervlaktecijfers in de BAG speelden er twee issues. Ten eerste hoort een adres soms alleen bij het vbo van het kantoor en niet bij het vbo van de naastgelegen (of in de buurt liggende) bedrijfshal. In een dergelijk geval is de naastgelegen hal meegenomen in het oppervlak ervan uitgaande dat dit het betreffende koel- of vrieshuis moet zijn (hiervoor is ook de BAG viewer en online bronnen zoals Google Maps gebruikt om in te zoomen op de specifieke locatie om zo een beter beeld te verkrijgen van de situatie). Ten tweede waren niet alle adressen in de lijst te voorzien van oppervlaktecijfers vanwege ontbrekende pandgegevens in de BAG. Van de in totaal 200 adressen konden er 116 van een oppervlak worden voorzien. Om een beeld te krijgen hoeveel het oppervlak zou bedragen indien alle adressen meegenomen zouden zijn is een ophoogfactor toegepast, waarbij impliciet is aangenomen dat de 116 leden een goed beeld geeft van alle leden. Het resultaat is dan 3,6 miljoen m² koel/vrieshuizen en valt lager uit dan het voorraadcijfer van Savills hetgeen erop zou kunnen wijzen dat een aantal relatief grote hallen (uitschieters naar boven) nu niet zijn meegenomen.

Als derde methode is gekeken naar het monitoringsrapport van de meerjarenafpraak energie-efficiëntie (MJA-3) voor de sector koel- en vrieshuizen (RVO, 2021a). Hierin wordt gerapporteerd wat het primair energieverbruik is van de sector en dit verbruik is onderverdeeld naar energiedrager: gas, elektriciteit en overig. Er was sprake van 3461,5 TJ primair verbruik voor elektriciteit in 2020. In het rapport staan echter geen voorraadcijfers vermeld waar dit verbruik betrekking op heeft. Alleen het aantal deelnemers aan het convenant wordt genoemd, dat waren er 79 in 2020. RVO heeft aangegeven dat ten tijde dat het convenant begon minimaal 80% van het totale energieverbruik van de sector was aangesloten. RVO geeft aan dat in jaren daarna over het algemeen de grotere bedrijven allemaal wel waren aangesloten, en de kleintjes inmiddels waren afgehaakt. Wat dat precies betekent voor het aandeel van het huidige sector verbruik dat nu nog binnen het convenant valt kan dus niet precies worden gezegd. Stel nu dat het aandeel nog zo rond de 80% ligt. Het gebruiksoppervlak dat deelneemt aan het convenant is dan te berekenen door het primaire elektriciteitsverbruik eerst om te rekenen naar het finaal elektriciteitsverbruik en dit vervolgens te delen door de gemiddelde elektriciteitsintensiteit (kWh/m²) van koel- en vrieshuizen. Voor het conversierendement van primair naar finaal verbruik is 47,2% aangehouden. Dit is het rendement op fossiel (op LHV) van het referentiepark in 2020 uit de KEV2021 (raming vastgesteld beleid) (PBL, 2021). De gemiddelde elektriciteitsintensiteit van gekoelde gebouwen bedraagt 113,6 kWh/m² in het CBS dashboard logistiek (CBS, 2021). Uit de berekening volgt dan 4 miljoen m² en wanneer de 80% in rekening wordt genomen dan wordt het oppervlak 5 miljoen m².

Uitgangspunt gebruiksoppervlak per gebouwtype

De verschillen tussen de uitkomsten voor koel- en vrieshuizen zijn te overzien. Zo rond de 5 miljoen m² lijkt een goede schatting te zijn. Voor de potentieelberekening volgen we het gebruiksoppervlak van Savills. Dit gebruiksoppervlak berust op het minste aantal (eigen) aannames.

In Figuur 3 is aangegeven hoeveel gebruiksoppervlak per gebouwtype uiteindelijk het uitgangspunt vormt in de potentieelberekening. Deze cijfers worden, na aftrek van leegstand, gebruikt in de potentieelberekening. De leegstand bedraagt 3% bij bedrijfshallen, autobedrijven, laboratoria en 1% bij datacenter (CBS, 2021a).



Figuur 3: Onderverdeling gebruiksoppervlak (m²) bedrijfshallen naar type in 2020 (inclusief leegstand)

3.4 Onderverdeling naar verwarmd, vorstvrij, gekoeld

De vierkante meters per gebouwtype zijn onderverdeeld naar 'verwarmd', 'vorstvrij' en 'gekoeld'. Allereerst stellen we vast dat een datacenter proceskoeling heeft en een bedrijfshal met koeling over productkoeling beschikt. Deze gebouwtypen categoriseren we daarom als 'gekoeld'⁶. Daarnaast stellen we vast dat laboratoria verwarmd worden. Voor 'bedrijfshallen zonder koeling' en autobedrijven is gebruikt gemaakt van database cijfers uit het Panteia monitoringsonderzoek onder bedrijfshallen (Panteia, 2021).

In het Panteia onderzoek is een steekproef van N=500 bedrijfshallen ondervraagd. Dit betreft zowel hallen in de dienstensector als daarbuiten. Productiehallen vallen in de industrie en deze zijn er eerst uitgefilterd. Alleen bedrijfshallen die worden gebruikt voor handel en vervoer blijven dan over: N=339. Er is een enquêtevraag of de hal verwarmd wordt en vervolgens een vraag of deze op werktemperatuur of

⁶ Er vindt wel gasgebruik plaats in datacentra en koel- en vrieshuizen zoals te zien in H4. Aannemelijk is dat ook deze gebouwen minstens vorstvrij gehouden worden of een apart verwarmd deel hebben. Het kan ook om een kantoor gaan dat er in of naast ligt en per abuis samengevoegd is met de hal. Er is een gasgebruik meegenomen bij deze gebouwtypen en gebruikt in de doorrekening van het besparingspotentieel op gas door warmtepompen in H5.

vorstvrij gehouden wordt. Door de antwoorden op deze twee vragen met elkaar vermenigvuldigen is het aandeel verkregen dat verwarmd wordt op werkteemperatuur. Het resterende deel van de voorraad wordt vorstvrij gehouden. Dat is hier de aanname, omdat we hier veronderstellen dat gebouwen minstens vorstvrij gehouden worden. Er is daarom altijd een verwarmingsinstallatie voor ruimteverwarming aanwezig. Het resultaat van deze aanname voor de onderverdeling naar verwarmd op werkteemperatuur en vorstvrij gehouden is weergegeven in Tabel 3 en Tabel 4. Voor de besparingspotentieelberekening gaan we uit van de onderverdeling in m² uit Tabel 4.

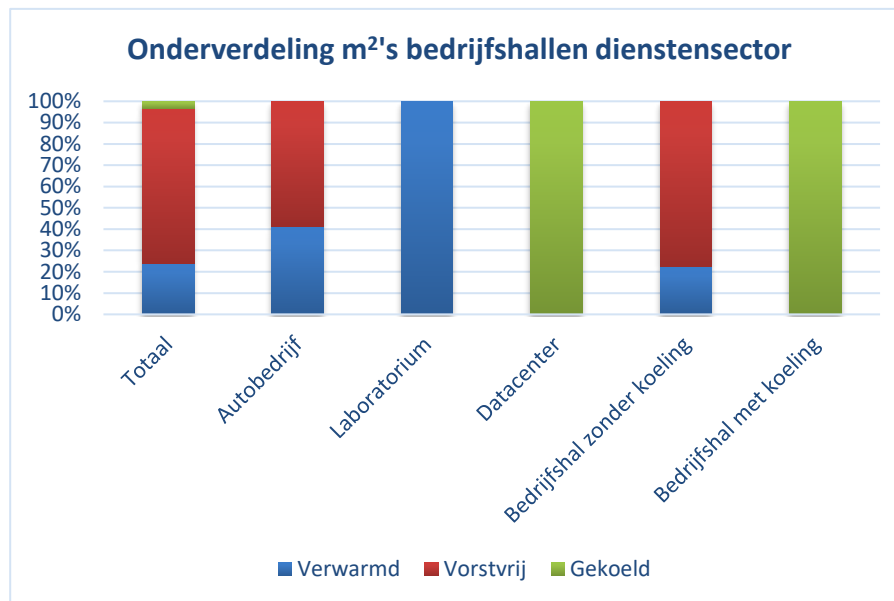
Tabel 3: Aantallen gebouwen (N) en percentage (%) dat verwarmd wordt op werkteemperatuur en vorstvrij gehouden wordt. Bron, Panteia, 2021

Gebouwtype	Totaal	Verwarmd 'ja'	Aandeel van verwarmd 'ja' waarvan op werkteemperatuur	Aandeel totaal verwarmd op werkteemperatuur	Aandeel totaal vorstvrij gehouden
Gehele dataset bedrijfshallen exclusief productiehallen in de industrie	100% N=339	57%	78%	45%	55%
Bedrijfshal (opslag/magazijn, overslag, stallingen van machines en voertuigen)	100% N=306	52%	73%	38%	62%
Autobedrijf (autowerkplaats of andere werkplaats en showroom)	100% N=77	81%	90%	73%	27%

Tabel 4: Gebruiksoppervlak (m²) en percentage (%m²) dat verwarmd wordt op werkteemperatuur en vorstvrij gehouden wordt. Bron, Panteia, 2021

Gebouwtype	Totaal	Verwarmd 'ja'	Aandeel van verwarmd 'ja' waarvan op werkteemperatuur	Aandeel totaal verwarmd op werkteemperatuur	Aandeel totaal vorstvrij gehouden
Gehele dataset bedrijfshallen exclusief productiehallen in de industrie	100% 1,7 mln. m ²	43%	56%	24%	76%
Bedrijfshal (opslag/magazijn, overslag, stallingen van machines en voertuigen)	100% 1,4 mln. m ²	40%	56%	22%	78%
Autobedrijf (autowerkplaats of andere werkplaats en showroom)	100% 0,13 mln. m ²	56%	74%	41%	59%

In Figuur 4 is weergegeven hoe de onderverdeling van m² gebruiksoppervlak van bedrijfshallen in de dienstensector naar verwarmd, vorstvrij, gekoeld eruit ziet.



Figuur 4: Verdeling gebruiksoppervlak naar verwarmd, vorstvrij, gekoeld

Er zijn enkele opmerkingen te maken bij deze indeling:

- De Panteia steekproefgrootte met N=339 bedrijfshallen is beperkt waardoor resultaten wellicht niet representatief zijn voor de gehele voorraad.
- Er is niet gevraagd in Panteia wat verwarmen op werktemperatuur precies inhoudt. Het is een aanbeveling voor vervolgstudie om naar het temperatuurniveau te vragen voor de werktemperatuur. Het kan zijn dat de gemiddelde werktemperatuur verschilt per type hal.
- Het type verwarmingsinstallaties duidt erop dat bedrijfshallen soms slechts gedeeltelijk verwarmd worden zoals bij de toepassing van gas heaters. Dit kan van invloed zijn op het besparingspotentieel op ruimteverwarming.
- In het Panteia onderzoek wordt een vraag gesteld of er ruimtekoeling is. Dit laat Figuur 4 niet zien; alleen product/proceskoeling is hierin meegenomen. Ruimtekoeling (airconditioning) komt pas aan bod bij het deel over energiefuncties en het aandeel van de voorraad dat ruimtekoeling heeft en het type koelinstallatie.

3.5 Onderverdeling naar bouwjaarklasse

De vierkante meters per gebouwtype zijn onderverdeeld naar bouwjaarklassen, zie Figuur 5. Hierbij hanteren we de volgende klassenindeling:

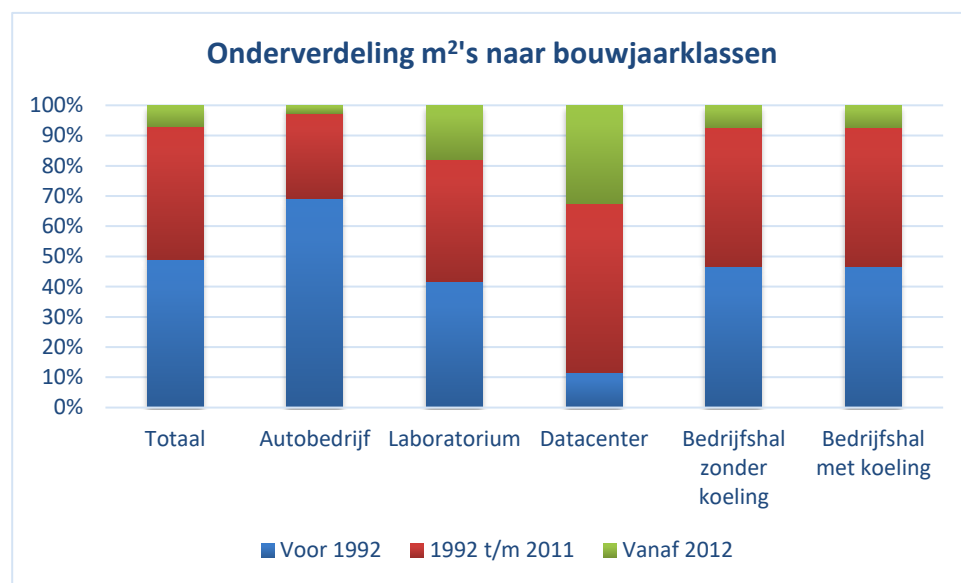
- Bouwjaar voor 1992
- Bouwjaar 1992 t/m 2011
- Bouwjaar vanaf 2012.

In 1992 trad het bouwbesluit in werking waarin thermische isolatie-eisen voor nieuwbouw zijn geformuleerd, zo ook voor nieuwbouw bedrijfshallen (conform het Bouwbesluit alleen voor hallen die verwarmd en gekoeld worden ten behoeve van

personen). Per 1 april 2012 zijn de bouwbesluit⁷ eisen voor de Rc (warmteweerstand) van dak, vloer en gevel van nieuwe gebouwen verhoogd.

De bouwjaarklassen indeling sluit ook aan bij de referentiegebouwen in de beslisboom voor verduurzaming van logistieke gebouwen die is opgesteld door de Dutch Green Building Council en Arcadis (Arcadis, 2021).

Voor bedrijfshallen als totaal komt 49% van de vierkante meters uit bouwjaarklasse 'voor 1992', 44% uit de tussenliggende periode en 7% uit de periode 'vanaf 2012'. De onderverdeling verschilt per gebouwtype; de voorraad autobedrijven is bijvoorbeeld relatief oud, waar de voorraad datacenters juist vooral recentere gebouwen betreft.



Figuur 5: Verdeling gebruiksoppervlakte naar bouwjaarklasse

Om de onderverdeling te maken is gebruikt gemaakt van historische voorraadcijfers uit de Klimaat- en energieverkenning 2021 (SAVE-S model) voor autobedrijf, laboratorium en datacenter. Daaruit valt op te maken hoeveel m² nieuwbouw er per gebouwtype is geweest per jaar (cijfers gebruikt t/m 2020).

De voorraadcijfers van de gebouwtypen bedrijfshal (met – en zonder koeling) zitten wat betreft afbakening anders in het SAVE-S model dan in deze studie en sluiten daarom niet aan bij de voorraadcijfers uit Figuur 3. Om deze reden is de BAG hiervoor geraadpleegd. Jeffrey Sipma (TNO) heeft geïnventariseerd hoeveel vierkante meters met een industrie functie voorkomt per bouwjaarklasse. Deze aandelen houden we aan voor bedrijfshallen. In de BAG zit echter alleen 'Industriefunctie' waarmee aanvullend onderscheid naar diensten/utiliteitsbouw en gebouwtypen niet te maken is zonder aanvullende koppelingen met andere datasets. Door alle panden met industrie functie mee te nemen hierin zitten ook de gebouwen buiten de dienstensector erbij. Dit is dus wel een onnauwkeurigheid van deze aanpak. Dit verder uitzoeken viel buiten de scope van dit project.

⁷ Zie bouwbesluit online: <https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1/art5-3>

Vergelijking met bouwjaarklassenverdeling van sector logistiek

Uit de analyse van Savills voor de logistieke sector komt een heel andere bouwjaarklassen verdeling naar voren dan hierboven voor bedrijfshallen. Daaruit blijkt namelijk dat bij 'logistiek' (37 miljoen m²) het grootste deel van de logistieke panden na 1990 gebouwd is. Namelijk 83% van de vierkante meters is gebouwd in 1990 of later (Savills, 2021).

4 Energieverbruik

4.1 Energie kentallen

Voor de 5 gebouwtypen zijn gemiddelde energieverbruiken geïnventariseerd, zie Tabel 5.

De kentallen voor het gemiddelde gasverbruik en elektriciteitsverbruik per vierkante meter zijn voor bedrijfshal met – en zonder koeling gebaseerd op de kentallen uit het CBS dashboard logistiek en hebben betrekking op het energieverbruik van grootschalig logistiekvastgoed (CBS, 2021b). Er is hierin onderscheid gemaakt naar verwarmd, vorstvrij en gekoeld gebouwen.

De kentallen voor het gemiddelde gasverbruik en elektriciteitsverbruik per vierkante meter zijn voor autobedrijf en laboratorium afkomstig uit een eerdere energie-kentallen studie voor utiliteitsgebouwen van ECN (ECN, 2016).

De kentallen voor het gemiddelde elektriciteitsverbruik per vierkante meter zijn voor datacenters gebaseerd op CBS data voor het totaal elektriciteitsverbruik van datacenters in 2019 (CBS, 2019) gedeeld door de vierkante meters van datacenters uit de CBS gebouwmatrix in 2019. Voor het gemiddelde aardasverbruik van datacenters is gebruik gemaakt van de kentallen uit de ECN studie (ECN, 2016).

De kentallen voor het totaal verbruik zijn onderaan de tabel te vergelijken met de energie-kentallen uit de beslisboom voor logistieke gebouwen van DGBC (DGBC, 2021). Deze getallen zijn slechts weergegeven ter referentie (er wordt niet mee gerekend in dit onderzoek).

Bij gas is te zien dat het gemiddelde gasverbruik afneemt met een recentere bouwjaarklasse. In (ECN, 2016) blijkt geen duidelijk trend in het elektriciteitsverbruik over de bouwjaarklassen te zitten. Afhankelijk van het gebouwtype is er een gelijkblijvend elektriciteitsverbruik of een iets toenemend verbruik met een recentere bouwjaarklasse. In het CBS dashboard logistiek wordt geen opsplitsing gemaakt voor de elektriciteitsintensiteiten naar bouwjaarklasse. Daarom is de gemiddelde intensiteit per gebouwtype aangehouden (net als voor de andere gebouwtypen).

Er zijn bij de keuze van de energiekentallen de volgende opmerkingen te maken:

- Het verdient aanbeveling de representativiteit van energie-kentallen uit het CBS dashboard logistiek voor de gehele voorraad 'bedrijfshallen' te onderzoeken.
- Het verdient aanbeveling de elektriciteit-intensiteit naar bouwjaarklasse verder te onderzoeken bij de diverse gebouwtypen (o.a. bij gebouwtype 'bedrijfshallen' en 'logistiek') voor inzicht in spreiding en eventuele trendmatigheden.

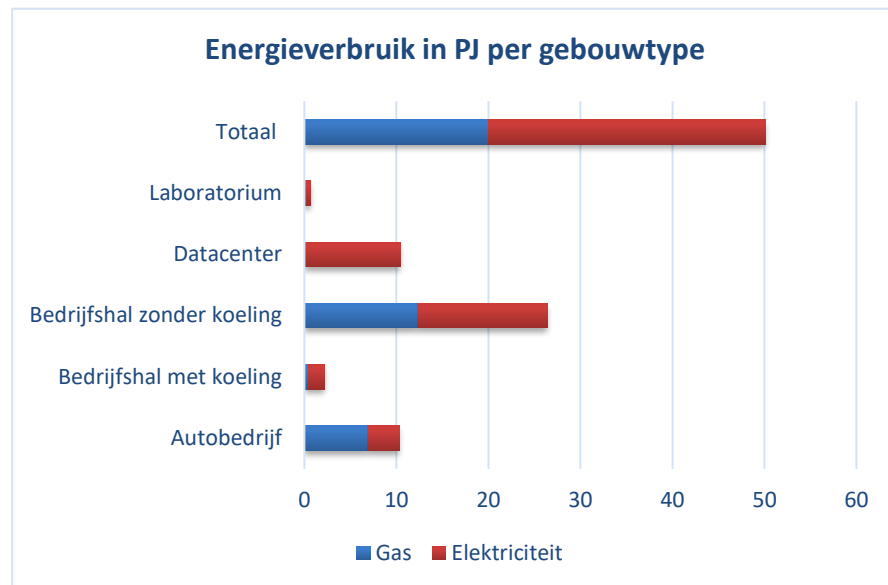
Tabel 5: Gemiddelde energieverbruik per gebouwtype met differentiatie naar soort verwarming en bouwjaarklasse. DGBC kentallen ter referentie.

	Bouwjaar	Soort verbruik	Autobedrijf		Bedrijfs hal met koeling	Bedrijfshal zonder koeling		Datace nter	Laborato rium
			Vanaf vorstvrij	Vanaf verwarmd	Vanaf gekoeld	Vanaf vorstvrij	Vanaf verwarmd	Vanaf gekoeld	Vanaf verwarmd
	voor 1992	Gas m ³ /m ²	10	15	3,8	3,1	4,5	10	16
	1992-2011	Gas m ³ /m ²	9	13	2,6	2,4	4,0	8	15
	na 2012	Gas m ³ /m ²	8	11	2,0	1,7	3,8	7	14
	voor 1992	Elek kWh/m ²	52	52	114	29	36	2.893	353
	1992-2011	Elek kWh/m ²	52	52	114	29	36	2.893	353
	na 2012	Elek kWh/m ²	52	52	114	29	36	2.893	353
	voor 1992	Totaal kWh/m ²	144	184	147	55	76	2.981	491
	1992-2011	Totaal kWh/m ²	131	167	136	50	71	2.964	482
	na 2012	Totaal kWh/m ²	119	149	131	44	69	2.955	474
DGBC	voor 1992	Totaal kWh/m ²				68	120		
DGBC	1992-2011	Totaal kWh/m ²				50	75		
DGBC	na 2012	Totaal kWh/m ²				45	60		

4.2 Bottom-up inschatting energieverbruik

Er is een bottom-up berekening gemaakt van het totale energieverbruik voor aardgas en elektriciteit per gebouwtype. Het gebruiksoppervlak in m² is hierbij vermenigvuldigd met de gemiddelde energieverbruiken per m². Daarbij is rekening gehouden met de segmentering van het gebruiksoppervlak en het gemiddelde energieverbruik per m² per segment (verwarmd, vorstvrij en gekoeld en de drie bouwjaarklassen). Vervolgens is het verbruik gesommeerd over de segmenten om zo het energieverbruik per gebouwtype te berekenen. Het totale energieverbruik per gebouwtype is weergegeven in Figuur 6. Het totaal berekende energieverbruik⁸ van bedrijfshallen bedraagt 50 PJ. Dit verbruik bestaat voor 30 PJ uit elektriciteit en 20 PJ uit aardgas. Het gebouwtype 'bedrijfshal zonder koeling' vertegenwoordigt circa de helft van het totaal verbruik. Bij autobedrijf en datacenter zit ongeveer hetzelfde energieverbruik. Bij koel- en vrieshuizen en laboratoria zit een veel lager energieverbruik.

⁸ Met het type energiedrager is geen rekening gehouden in deze berekening. Alle vierkante meters hebben een aardgasgebruik toegewezen gekregen ongeacht welke soort verwarmingsinstallatie aanwezig is. In werkelijkheid kan het in plaats van aardgas ook om andere energiedragers (zoals warmtelevering) gaan. We nemen hier dus impliciet aan dat het energieverbruik (het aardgas-equivalent) daarvan gelijk is aan dat van gebouwen verwarmd met aardgas.



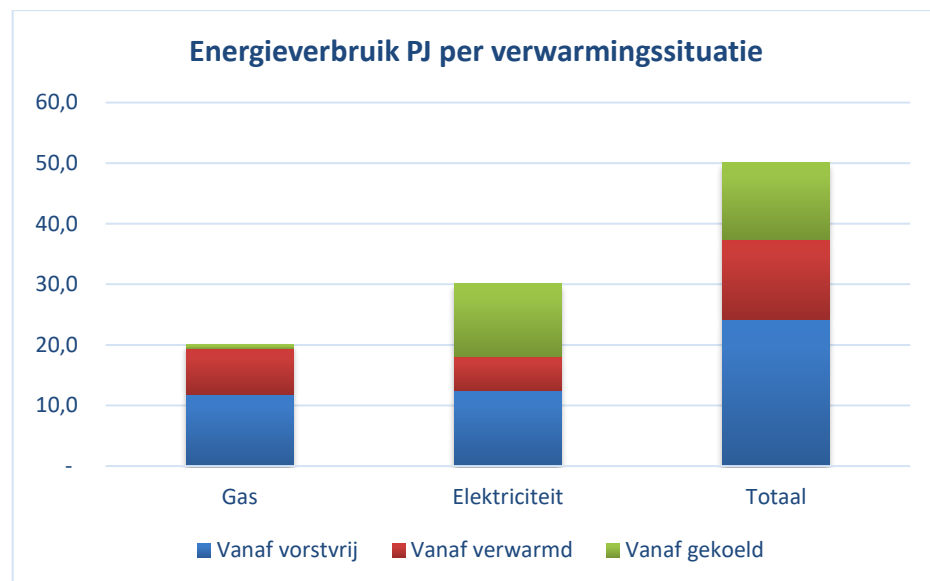
Figuur 6: Totaal bottom-up berekende energieverbruik (PJ) van bedrijfshallen met daarbij onderscheid naar gas en elektriciteit

Bedrijfshallen zonder koeling is het gebouwtype met veruit de meeste vierkante meters in de dienstensector en daardoor het hoogste totale energieverbruik. Dit ondanks het relatief lage energieverbruik per vierkante meter ten opzichte van andere gebouwtypen in de dienstensector (ECN, 2016; ECN, 2017). Het gegeven dat het energieverbruik per vierkante meter (op individueel pandniveau) hier zo laag is zal er wel voor zorgen dat het nemen van energiebesparende maatregelen hier minder kosteneffectief is (hogere terugverdientijd) dan bij andere gebouwtypen in de dienstensector die een hoger verbruik (en daardoor hogere potentiële besparing) per vierkante meter hebben.

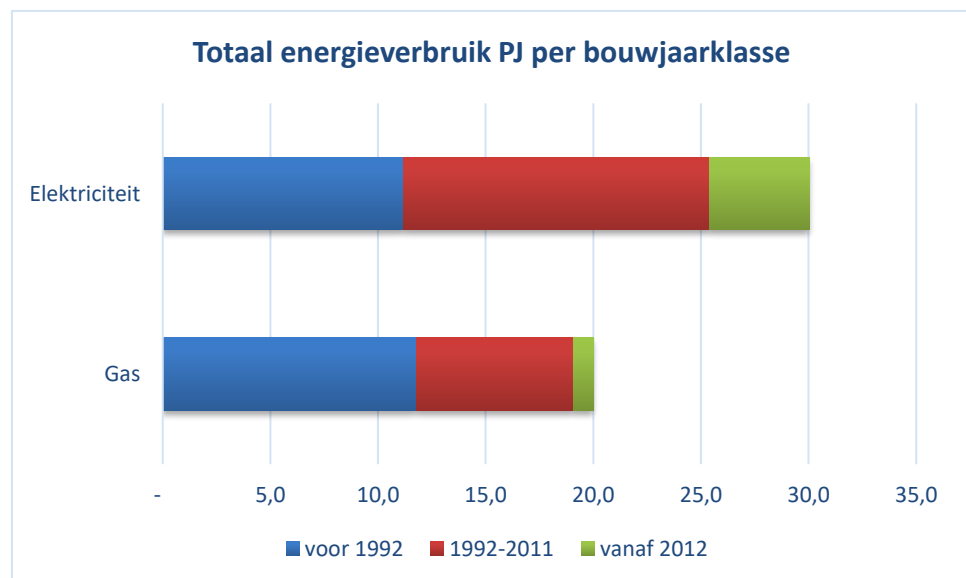
In Figuur 7 wordt het energieverbruik opgesplitst naar verwarmingstypen. Daaruit wordt onder meer duidelijk dat alle drie de verwarmingstypen binnen bedrijfshallen een belangrijke bijdrage leveren aan het totale energieverbruik. Een groter aandeel van het gasverbruik zit bij het vorstvrije deel van de voorraad aangezien we eerder gezien hebben dat het aandeel van het gebruiksoppervlak hiervan hoger was dan van verwarmd op werkte temperatuur. Bij elektriciteit zorgen de datacenters, voor een relatief belangrijk aandeel van het totaal en komt (net als bij gas) ook meer verbruik terecht bij vorstvrij dan bij verwarmd.

In Figuur 8 is het totale energieverbruik opgedeeld naar bouwjaarklassen.

Figuur 7: Totaal bottom-up berekende energieverbruik (PJ) van bedrijfshallen met daarbij onderscheid naar verwarmingssituatie



Figuur 8: Totaal bottom-up berekende energieverbruik (PJ) van bedrijfshallen onderverdeeld naar bouwjaarklasse



Alle vierkante meters (behalve leegstand) zijn in de bottom-up berekening voorzien van een aardgas en elektriciteitsverbruik. Met het type warmteopwekker is geen rekening gehouden in de berekening van het energieverbruik; alle gebouwen hebben een aardgasgebruik. Dit moet beschouwd worden als een equivalent aardgasgebruik. Dit kan bijv. het warmteverbruik zijn voor gebouwen met stadsverwarming. Later maken we voor de besparing wel onderscheid naar verwarmingsinstallaties, en rekenen bijv. alleen de besparing uit voor het deel van de voorraad dat een gasketel gebruikt om te verwarmen.

4.3 Top-down inschatting energieverbruik en keuze uitgangspunt

In de Klimaat en energieverkenning 2021 is via een top-down onderverdeling van het totale energieverbruik in de dienstensector naar gebouwtype ook berekend hoeveel energieverbruik (PJ) naar bedrijfshallen gaat. Daarbij wordt ook de gebouwenmatrix van CBS gebruikt. De energie-intensiteit wordt aangepast om het energieverbruik per SBI hoofdsector te matchen met het energieverbruik per SBI hoofdklasse uit de energiestatistiek van het CBS. De top-down benadering komt uit op 82 PJ. Dit energieverbruik is van toepassing op bedrijfshallen, autobedrijven, laboratoria en datacenters in SBI sectoren G t/m S + U (de dienstensector). Dit is een aanzienlijk hoger energieverbruik dan in de bottom-up berekening in paragraaf 4.2.

De hypothese is dat het verschil onder andere veroorzaakt wordt doordat er momenteel miljoenen vierkante meters bedrijfshal nog niet in kaart zijn gebracht in de CBS gebouwenmatrix, omdat het panden in de BAG betreft zonder adres, verblijfsobject en gebruiksoppervlakte. Dit houdt in dat de werkelijke voorraad bedrijfshallen groter is dan in deze studie is aangegeven. Ten tweede hebben we in de bottom-up benadering voor bedrijfshal zonder koeling de energie-intensiteiten uit het CBS dashboard logistiek aangehouden (CBS, 2021b). Dit dashboard speciaal voor logistieke gebouwen laat relatief lage energie-intensiteiten zien in vergelijking tot andere gebouwtypen in de dienstensector (zie ECN, 2016). Met name voor aardgas zijn intensiteiten $< 4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ relatief laag ten opzichte van wat is aangenomen in de KEV voor dit type bedrijfshal (wat erop duidt dat logistieke gebouwen vaak slechts deels en/of op een relatief lage temperatuur verwarmd worden). Om deze reden is het werkelijke energieverbruik van bedrijfshallen hoger dan (bottom-up) berekend.

Als uitgangspunt kiezen we er nu toch voor de bottom-up methode te volgen. De reden is dat die energie-intensiteiten voor logistieke gebouwen betrouwbaarder zijn dan de omhoog gecorrigeerde intensiteiten gebruikt in de Klimaat en energieverkenning. Deze lagere intensiteiten passen beter bij gebouwen die matig of slechts gedeeltelijk verwarmd worden. Op deze manier wordt de besparing in ieder geval niet overschat. Gevolg van deze keuze is dat de werkelijke besparing hoger zal zijn. Wel laten we aan het eind ook zien hoe hoog de besparing wordt als gerekend zou worden met 82 PJ.

Het blijft wel de vraag hoe representatief het energieverbruik in de sector logistiek is voor alle gebouwen gecategoriseerd als gebouwtype 'bedrijfshal'. Logistiek omvat namelijk slechts een deel van het gebouwtype 'bedrijfshallen' in de dienstensector.

4.4 Onderverdeling energieverbruik naar energiefunctie

Het energieverbruik per gebouwtype is vervolgens onderverdeeld naar de belangrijkste energiefuncties:

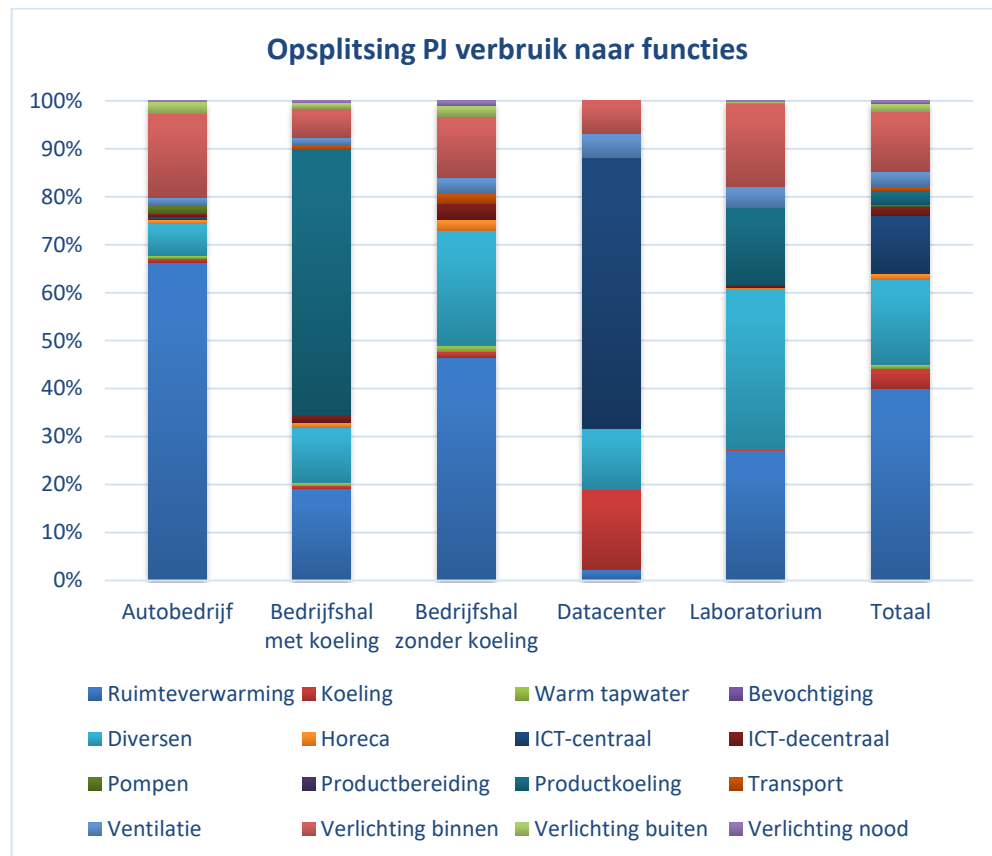
- Ruimteverwarming
- Ventilatie
- Ruimtekoeling
- Productkoeling (koel/vrieshuizen)
- Verlichting
- ICT servers (specifiek datacenters)
- Niet-gebouwgebonden gas en elektriciteitsverbruik.

Voor aardgas is aangenomen dat dit volledig voor ruimteverwarming wordt gebruikt. De onderverdeling voor elektriciteit is gemaakt op basis van openbare bronnen die opsplitsingen maken van het werkelijk verbruik naar energetische toepassing. De volgende bronnen en eigen inzichten zijn gebruikt:

- MKB-energy CheckUp (energie-scan)⁹ (MKB Energy CheckUp 2021a,b); hiervan is de breakdown voor gebouwtype 'bedrijfshal' en 'datacenter' gebruikt, zie hiervoor de Appendix. De aanname is verder dat het verschil in elektriciteitsintensiteiten tussen bedrijfshallen met en zonder koeling door productkoeling komt. Het CBS dashboard logistiek (CBS, 2021b) is gebruikt voor de elektriciteitsintensiteit van vorstvrij, verwarmd en gekoeld voor bedrijfshal.
- Het rapport van Meijer is gebruikt voor de onderverdeling bij autobedrijf (Meijer, 2009).
- Voor een laboratorium is het elektriciteitsverbruik per m² per functie gelijk gesteld aan die bij een bedrijfshal met koeling. De reden hiervoor is dat een lab (met name een medisch lab) product koeling heeft. Een lab heeft in totaal een hogere elektriciteitsintensiteit dan een bedrijfshal, wat komt omdat er meer apparatuur wordt gebruikt voor diverse processen. De energiefunctie 'diversen' is hier dus hoger.

Het resultaat per gebouwtype ziet er uit zoals in Figuur 9.

⁹ De MKB Energy CheckUp is een gezamenlijk project van MKB-Nederland, VNO-NCW, CCS Energieadvies en enkele Europese partners, in nauwe samenwerking met brancheverenigingen zoals UNETO-VNI. De Europese Unie subsidieert het project. MKB Energy CheckUp is een online energiescan die is ontwikkeld voor ondernemers in de horeca, retail, food, non-food, dienstverlening en het midden- en kleinbedrijf. De energie-scan geeft in vier stappen inzicht in het energiegebruik en advies over energiebesparende maatregelen. Voor deze gebouwtypen zijn geaggregeerde inzichten in de opdeling van het energieverbruik gegenereerd, o.a. bedoeld om mee te benchmarken.



Figuur 9: Resultaat opsplitsing totaal energieverbruik (PJ) naar functie per gebouwtype

Het resultaat voor het totaal in weergegeven in Tabel 6. Het grootste deel van het totaal energieverbruik bestaat uit het energiegebruik voor ruimteverwarming. Het grootste deel van het elektriciteitsgebruik zit bij overige toepassingen, gevolgd door binnenverlichting en ICT-centraal (datacenters). Van het totale energieverbruik van bedrijfshallen van 50 PJ is naar schatting ruim 30 PJ gebouwgebonden energieverbruik.

Tabel 6: Opdeling energieverbruik bedrijfshallen naar belangrijkste energiefuncties

Energiefunctie	Energieverbruik bedrijfshallen Totaal (PJ)
Ruimteverwarming	20,0
Ventilatie	1,6
Koeling	2,1
Productkoeling	1,3
Verlichting binnen	6,2
ICT-centraal	6,0
ICT-decentraal	1,0
Overig	11,9
Totaal	50,1

Kanttekening hierbij is wel hoe betrouwbaar het beeld is voor de opdeling naar energiefuncties. Er is momenteel gebrek aan recente openbare data die hiervoor gebruikt kan worden. Dit kan zijn data welke verkregen is uit analyses/onderverdelingen van het gemeten energieverbruik (o.a. geaggregeerde energy audit gegevens of slimme meter data analyses). De MBK -energy CheckUp beschikt over geaggregeerde gegevens op basis van een database met de resultaten van energiescans voor individuele gebouwen. Onduidelijk is echter waar de MKB energie-scan op de verdeling van energieverbruik naar energiefuncties precies op baseert (welke methode is gebruikt voor de onderverdeling). De grootte van de dataset is onbekend.

Uit een gesprek met het adviesbureau Enodes – die zelf energy audits uitvoert – zijn inzichten verkregen in enkele energy-audit resultaten. Voor koel- en vrieshuizen komt daaruit ongeveer hetzelfde beeld naar voren als hierboven voor het aandeel productkoeling; hierboven vonden we 68%. Alhoewel dit aandeel bij uitsluitend vriesopslag soms nog hoger ligt, want t/m 99% op het elektriciteitsverbruik voor koeling komt hier voor. Voor het aandeel op het elektriciteitsverbruik dat naar binnenverlichting gaat wordt net als hier ook 5 á 10% gevonden.

Voor een farmaceutisch lab blijkt uit data van Enodes dat zo'n 20% naar verlichting gaat en 29% naar koeling. Hierboven vonden we dat zo'n 24% naar verlichting gaat en 22% naar koeling. Gezien de diversiteit aan energetische toepassingen bij labs (de onzekerheid in de gemiddelde situatie) houden we het bij de inschatting hierboven.

De kentallen van Meijer uit 2009 over de verdeling naar energiefunctie bij autobedrijven zijn inmiddels meer dan 10 jaar oud en mogelijk verouderd. Dit is echter de enige bruikbare bron. Een ECN studie in 2013 (ECN, 2013) die iets zegt over autobedrijven is niet gebruikt, omdat deze deels gebaseerd is op Meijer en niet hetzelfde detailniveau heeft qua onderverdeling naar energetische toepassingen. Een update van de kentallen voor autobedrijven is dus gewenst. Het verdient daarom aanbeveling om een vervolgonderzoek te doen naar actualisatie van het energieverbruik per energiefunctie voor diverse bedrijfshal-gebouwtypen. Daarbij kan dan bijvoorbeeld ook worden uitgezocht waarom gekoelde bedrijfshallen (en datacenters) toch een significant gasverbruik hebben ten opzichte van verwarmde en vorstvrije hallen. Een van de vragen die daarbij hoort is of dit gasverbruik hoort bij het naastgelegen kantoor of de hal zelf en/of dat bijvoorbeeld gekoeld wordt met koelmachines op aardgas.

5 Energiebesparing

5.1 Meegenomen energiebesparende maatregelen

Er zijn in totaal 20 maatregelen voor energiebesparing en 1 maatregel voor opwekking (zon-PV) doorgerekend zie Tabel 7. De maatregelen hebben betrekking op energiefuncties. Een aantal van de maatregelen (zoals verlichtingsregelingen en koeling voor datacenters) bestaat uit twee of meer sub-maatregelen welke zijn gecombineerd tot één maatregel.

Tabel 7: Meegenomen energiebesparende maatregelen in besparingspotentieel

Nr.	Maatregel omschrijving	Besparing op energiefunctie
1	Dakisolatie	Ruimteverwarming
2	Gevelisolatie met gevelplaten met sandwichpanelen	Ruimteverwarming
3	HR107-ketel i.p.v. CR/VR ketel	Ruimteverwarming
4	Gas heaters vervangen door IR panelen	Ruimteverwarming
5	Geïsoleerde deur/dockshelters/luchtgordijnen	Ruimteverwarming
6	Operationele inefficiency: verwarming buiten gebruikstijd voorkomen/regelingen ketel	Ruimteverwarming
7	Hybride warmtepomp	Ruimteverwarming
8	All-electric warmtepomp (aardgasvrij)	Ruimteverwarming
9	Dakisolatie	Ruimtekoeling
10	Zomernachtventilatie/passieve koeling	Ruimtekoeling
11	Koelsysteem met hoog rendement	Ruimtekoeling
12	LED lampen	Verlichting
13	Verlichtingsregelingen	Verlichting
14	Daklichten (ramen in het dak)	Verlichting
15	Isolatie productkoeling	Productkoeling
16	Energiezuinige productkoelinstallatie	Productkoeling
17	Regelingstechniek productkoeling	Productkoeling
18	Gebruik ICT servers (inzet servers afstemmen op vraag, virtualisatie)	ICT-centraal (Datacenters)
19	Besparing op koeling (hogere koeltemperatuur, vrije koeling, energiezuinige koeling)	ICT-centraal (Datacenters)
20	Tijdschakelaar toepassen om ventilatie buiten bedrijfstijd te voorkomen	Ventilatie
21	Zon-PV	Duurzame energie-opwekking

Warmte terugwinning uit ventilatielucht (WTW) is geen erkende maatregel bij bedrijfshallen en kan alleen worden toegepast bij balansventilatie. Deze is daarom niet meegenomen.

5.2 Toepasbaarheid energiebesparende maatregelen

Er is rekening gehouden of een bepaalde maatregel toepasbaar (zinnig) is voor een specifiek gebouwtype. Welke maatregelen toepasbaar zijn bij specifieke gebouwtypen hangt af van diverse factoren. Van belang hierbij is in ieder geval:

- Of de gebouwen verwarmd worden op werkteemperatuur. Alleen in deze situatie zijn besparingsmaatregelen voor ruimteverwarming (zoals isolatie) effectief. Voor vorstvrij en gekoelde hallen is geen besparing op ruimteverwarming verondersteld, behalve door toepassing van hybride of all-electric warmtepomp.
- Of de gebouwen gekoeld worden. Dit geldt voor koel- en vrieshuizen en datacenters. Maatregelen die besparen op energie voor proceskoeling zijn daar van toepassing.
- Of er een centrale ICT voorziening aanwezig is. Maatregelen hiervoor zijn toepasbaar bij datacenters.
- Of er (voldoende) daglicht intrede is. Wanneer dit zo is dan is daglichtafhankelijke regeling (onderdeel van de maatregel 'verlichtingsregelingen') een optie. Zo niet, dan zijn daklichten (ramen in het dak maken) een mogelijke maatregel om de verlichtingsbehoefte mee te reduceren. Daglicht afhankelijke regeling is alleen van toepassing bij labs omdat die voldoende lichtinval hebben. Daklichten is van toepassing bij bedrijfshal zonder koeling en autobedrijven. Datacenters en koel- en vrieshuizen willen juist zo min mogelijk lichtinval en daarom zijn daglichten niet van toepassing.
- Veegpuls niet van toepassing bij datacenter vanwege de continue bedrijfstijden

De gehanteerde aannames over de toepasbaarheid van maatregelen per gebouwtype staan vermeld in Tabel 8.

Tabel 8: Aannames toepasbaarheid maatregelen per gebouwtype

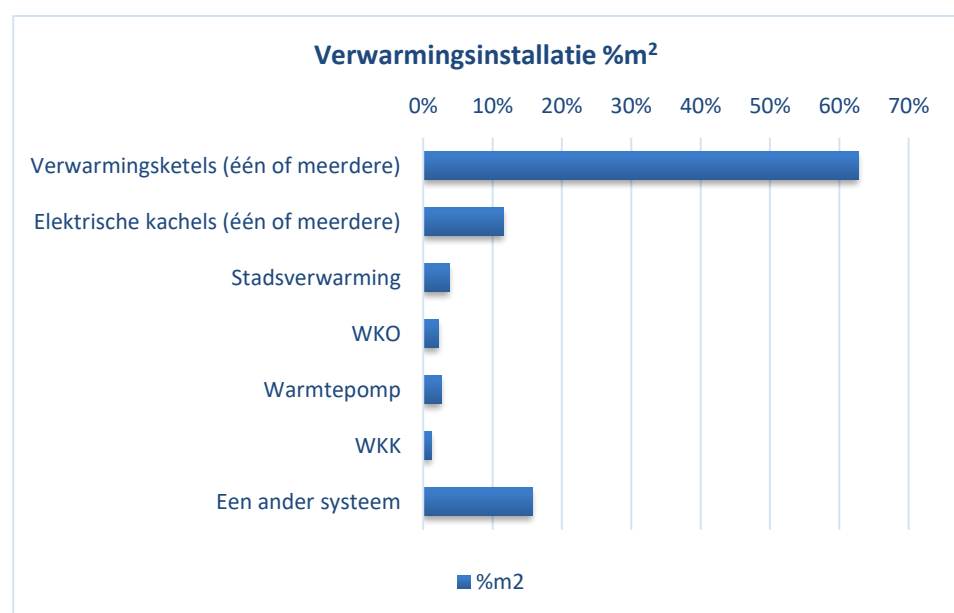
Maatregel-nummer	Autobedrijf		Bedrijfshal met koeling	Bedrijfshal zonder koeling		Data-center	Laboratorium
	Verwarmd	Vorst vrij	Gekoeld	Verwarmd	Vorst vrij	Gekoeld	Verwarmd
Dakisolatie (op verwarming)	X			X			X
Gevelisolatie	X			X			X
HR107-ketel	X			X			X
Gas heaters vervangen door IR panelen	X			X			
Geïsoleerde deur /dockshelters/luchtgordijnen	X			X			X
Operationele inefficiency: verwarming buiten gebruikstijd voorkomen/regelingen ketel	X			X			X
Hybride warmtepomp	X	X	X	X	X	X	X
All-electric warmtepomp (aardgasvrij)	X	X	X	X	X	X	X
Dakisolatie (op ruimtekoeling)	X	X		X			X
Zomernachtventilatie/ passieve koeling	X	X		X			X
Ruimtekoelsysteem met hoog rendement	X	X		X			X
LED lampen	X	X	X	X		X	X
Veegpulsschakeling	X	X	X	X	X		X
Aanwezigheidsdetectie	X	X	X	X	X	X	X
Daglichtafhankelijke regeling							X
Daklichten	X	X		X	X		
Isolatie productkoeling			X				X
Energiezuinige productkoelinstallatie			X				X
Regelingtechniek productkoeling			X				X
Datacenters gebruik ICT servers						X	
Datacenters proceskoeling						X	
Tijdschakelaar ventilatie	X	X	X	X	X	X	X
Zon-PV potentieel	X	X	X	X	X	X	X

Daarnaast is van belang met welke installatie(s) de gebouwen verwarmd worden zie Figuur 10. Voor het deel dat ruimteverwarming met een gasketel heeft is een warmtepomp een alternatief. Voor het deel dat gas heaters aan het plafond heeft zijn IR panelen een optie. Lokale verwarming van werkplekken met IR-verwarming is in deze bedrijfshallen vaak energiezuiniger dan het verwarmen van de gehele hal met gas heaters (Nieman, 2021).

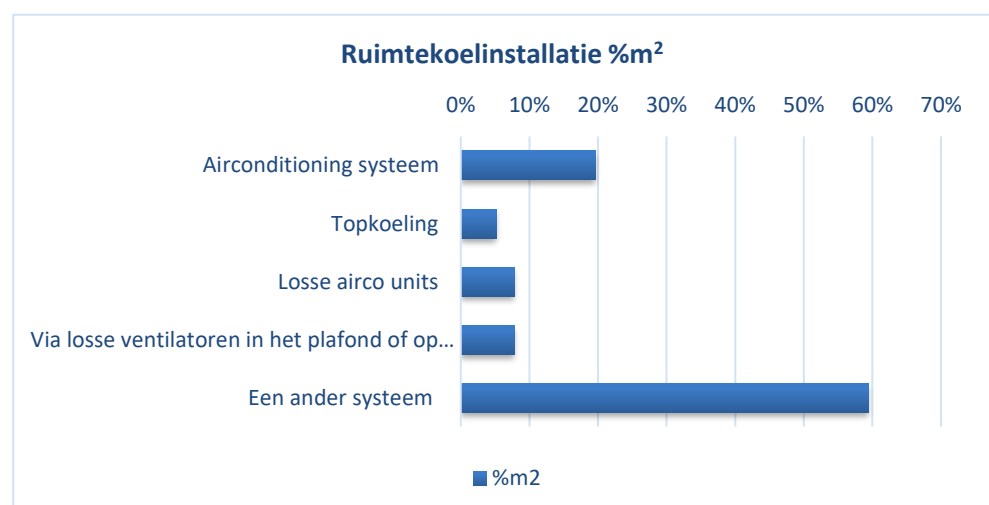
Ook van belang is met welke installatie(s) de ruimtes in de gebouwen gekoeld worden zie Figuur 11. Is er een conventionele airco aanwezig dan zijn koeltechnieken met hoger rendement (o.a. adiabatische/verdampings koeling) of zomernachtventilatie/passieve koeling mogelijke maatregelen.

Een aanname die we hanteren is dat er geen besparing is op gas voor ruimteverwarmingsmaatregelen voor bedrijfshallen die 'vorstvrij' worden gehouden en 'gekoeld' worden. Uitzondering hierop is warmtepompen waarvan we aannemen dat deze ook hier toepasbaar zijn ter substitutie van ruimteverwarming op aardgas.

De achterliggende Panteia cijfers achter Figuur 10 en 11 (%aantal gebouwen en %m² van deze gebouwen) is uitgebreider weergegeven in de Appendix. In de berekening wordt gerekend met het %m².



Figuur 10: Hoe worden bedrijfshallen verwarmd? (inclusief vorstvrij) Aandeel vierkante meters (%m²) met betreffende installatie Bron: Panteia, 2021



Figuur 11: Hoe worden bedrijfshallen gekoeld? Aandeel vierkante meters (%m²) met betreffende installatie Bron: Panteia, 2021

Hoeveel maatregelen nog genomen kunnen worden hangt af van de al eerder uitgevoerde maatregelen oftewel de penetratiegraad van energiebesparende maatregelen in de voorraad. Het besparingspotentieel wordt berekend t.o.v. de status van getroffen maatregelen in de gebouwworraad in 2020. De penetratiegraad (%) van maatregelen (status 2020) wordt hierin gehanteerd als uitgangspunt zie Tabel 9. De penetratiegraden als percentage van het gebruiksoppervlak ($\%m^2$) zijn hiervoor gebruikt zodat steeds het deel van de voorraad in vierkante meters overblijft die de maatregel nog kan toepassen.

We hebben daarbij de volgende bronnen gebruikt:

- Het Panteia monitoringsrapport over 2020 (Panteia, 2021) en de achterliggende Excel database.
- Dataset van RVO uit de informatieplicht over de status van uitgevoerde erkende maatregelen EML voor de bedrijfstak 'bedrijfshallen' in 2020. (bevat de gegevens tot en met september 2021).

Er zijn enkele kanttekeningen te maken bij het gebruik van deze data:

- De steekproefgrootte is soms beperkt waardoor resultaten wellicht niet representatief zijn voor de gehele voorraad.
- Bedrijfshallen zijn soms slechts gedeeltelijk voorzien van een maatregel. Dit aspect negeren we hier volledig vanwege de complexiteit door de variatie in situaties en het gebrek aan inzichten hierover, maar dit beïnvloed wel het besparingspotentieel.
- Het kwaliteitsniveau van de isolatie is voor bedrijfshallen niet uitgevraagd en daardoor onbekend; Nu is gerekend met het deel van de voorraad dat ongeïsoleerd is.
- Uitgaande van de EML maatregelen weersafhankelijk regeling en tijdschakelaar ruimteverwarming is een inschatting gemaakt van de huidige toepassing van 'Operationele inefficiency'
- Er is geen informatie over de toepassing van zomernachtventilatie/passieve koeling. De verwachting is dat het niet of nauwelijks wordt toegepast en de huidige toepassing is daarom op nul gezet.
- De toepassing van zuinige koelsystemen zijn ingeschat op basis van meerdere maatregelen in het e-Loket die hier betrekking op hebben.

Tabel 9: Huidige toepassing van besparingsmaatregelen in bedrijfshallen, weergegeven als het % aantal gebouwen en % m² van deze gebouwen die een bepaalde maatregel getroffen heeft.

Energiefunctie	Besparingsmaatregel	%N	%m ²	Bron
Ruimte-verwarming	Dakisolatie ¹	79%	83%	Panteia
	Gevelisolatie met gevelplaten met sandwichpanelen ²	76%	78%	Panteia
	HR-107 ketel (hier uitgedrukt als het percentage met een HR-107 ketel van bedrijfshallen met een gasketel)	58%	58%	e-loket
	Gasheaters vervangen door IR panelen (hier aangegeven is het aandeel bedrijfshallen dat in 2020 een gas heater heeft)	9%	13%	e-loket
	Geïsoleerde deur/dockshelters/luchtgordijnen	61%	62%	e-loket
	Operationele inefficiency: verwarming buiten gebruikstijd voorkomen/regelingen ketel	64%	61%	e-loket
	Hybride warmtepomp	4%	3%	Panteia
	All-electric warmtepomp (aardgasvrij)	7%	6%	Panteia
Ruimtekoeling	Dakisolatie	79%	83%	Panteia
	Zomernachtventilatie/passieve koeling	0%	0%	Aanname
	Koelsysteem met hoog rendement	26%	35%	e-loket
Verlichting	LED lampen	53%	47%	e-loket
	Veegpuls	5%	7%	Panteia
	Aanwezigheidsdetectie	45%	44%	Panteia
	Daglichtafhankelijke regeling	15%	14%	Panteia
	Daklichten (ramen in het dak)	17%	16%	e-loket
Productkoeling	Isolatie	26%	35%	e-loket
	Energiezuinige koelinstallatie	7%	7%	e-loket
	Regelingtechniek	11%	13%	e-loket
Datacenters	Gebruik ICT servers (inzet servers afstemmen op vraag, virtualisatie)	78%	78%	e-loket *
	Besparing op koeling (hogere koeltemperatuur, vrije koeling, energiezuinige koeling)	67%	67%	e-loket **
Ventilatie	Tijdschakelaar toepassen om ventilatie buiten bedrijfstijd te voorkomen	43%	48%	e-loket

5.3 Besparingskentallen maatregelen

In de berekening van de potentiëlen per maatregelen is rekening gehouden met:

- Het gegeven dat maatregelen die op dezelfde energiefunctie besparen interactie met elkaar hebben en daardoor elkaars besparing verminderen wanneer ze achter elkaar worden geïmplementeerd; de gebruikte besparingskentallen per maatregel zijn hiervoor gecorrigeerd. Er wordt steeds bespaard op het resterend verbruik na het nemen van de vorige maatregelen. Bijvoorbeeld maatregel 1 bespaart 20% op een bepaalde energiefunctie en maatregel 2 ook, dan is de besparing van de tweede maatregel op het initieel verbruik 16%.
- Dat de bouwjaarklasse (referentie) invloed heeft op de besparingskentallen. Voor de gasbesparing op ruimteverwarming wordt bijvoorbeeld voor na-isolatie gerekend met lagere besparingspercentages bij een recentere bouwjaarklasse. De besparing vanaf ongeïsoleerd (hier alleen van toepassing 'voor 1992') is gebaseerd op kentallen in de EnergiePotentieelScan (EPS) bedrijventerreinen van TNO. De verminderde besparing voor de andere twee bouwjaarklassen betreft een eigen inschatting.

Tabel 11 toont de besparingspercentages. Hieronder worden de overige aannames uiteengezet per energiefunctie.

Ruimteverwarming

- Voor de gasbesparing door dak- en gevel isolatie wordt gerekend met lagere besparingspercentages bij een recentere bouwjaarklasse.
- Voor de besparing van de HR107 is een gewogen gemiddelde besparing genomen voor de HR107 ten opzichte van combinatie van CR en VR als referentietechniek op basis van besparingscijfers in de Monitor Energiebesparing Gebouwde Omgeving (RVO, 2021). Bij bouwjaarklasse na 2012 is deze maatregel niet meer van toepassing.
- Voor deur/dockshelters/luchtgordijnen is alleen besparing op ruimteverwarming meegenomen (niet op product-/proces-/ruimtekoeling).
- De besparing door geïsoleerde deur/dockshelters/luchtgordijnen veronderstelt een luchtdebiet van 4000 m³ lucht/uur (door 4 deuren) over 2.080 uur per jaar en een gem. temperatuurverschil van 10 graden Celsius tussen buiten en binnen. Dat betekent een warmteverlies van 54 GJ per jaar. Het warmteverlies wordt met 70%¹⁰ teruggebracht. de besparing is dus 38 GJ/jaar. Voor een bedrijfshal van 5.000m² met een initieel gasverbruik van 19.500m³/jaar betekent dat een besparing van 6% op ruimteverwarming.
- IR panelen i.p.v. gasheaters substitueert het gasverbruik voor elektriciteit voor het deel van de voorraad dat momenteel een gasheaters heeft. Het elektraverbruik is berekend uitgaande van 90% efficiency van de IR panelen.
- Voor hybride/all-electric warmtepomp is een gemiddelde COP =3 aangenomen.
- Eerst worden alle gebouwmaatregelen uitgevoerd, daarna operationele efficiency (het inregelen van installaties) en als laatste pas de warmtepomp die op het resterende aardgas bespaart.

Hoe is omgegaan met operationele inefficiency gasverbruik?

Uit een studie naar verduurzaming van kantoren (TNO, 2020) blijkt dat maatregelen die operationele inefficiency tegengaan samen 67% gasbesparing oplevert voor de meest recente bouwjaarklasse die al goed geïsoleerd is. Er blijft dus 33% van het

¹⁰ <https://binnenklimaatexpert.nl/adviezen/hoe-kiest-juiste-luchtgordijn/>

initiële gasverbruik over na het nemen van deze maatregelen. Dit geeft het gasverbruik per m² waar het gebouw uiteindelijk op uitkomt en dat geldt ook voor de twee oudere bouwjaarklassen die dezelfde maatregelen treffen. Bij de oudste bouwjaarklassen zit de besparing echter vooral bij gebouwmaatregelen (verbeterde isolatie en installaties) terwijl deze bij de meest recente bouwjaarklasse vooral bij het beter inregelen van installaties zit. Zie Tabel 10 voor de gehanteerde aannames per gebouwtype en bouwjaarklasse. Een aanbeveling is wel om de potentiële besparing door beter inregelen van installaties te onderzoeken bij verwarmde bedrijfshallen.

Tabel 10: Besparing door tegengaan operationele inefficiency voor bedrijfshallen. Aanname: Een gebouw 'na 2012' kan 46% op gas besparen door beter inregelen en 21% door gebouwmaatregelen, in totaal 67%.

Gebouwtype	Autobedrijf	Bedrijfshal zonder koeling	Laboratorium
Energiedrager	Gas	Gas	Gas
Type verwarming	Vanaf verwarmd	Vanaf verwarmd	Vanaf verwarmd
voor 1992	17%	14%	13%
1992-2011	30%	26%	27%
na 2012	46%	46%	46%

Ruimtekoeling

- Een geïsoleerd dak bespaart op energieverbruik voor ruimteverwarming, maar ook op energieverbruik voor ruimtekoeling. De besparing op energieverbruik voor ruimtekoeling is procentueel hetzelfde als voor de functie ruimteverwarming.
- Zomernachtventilatie¹¹/passieve koeling bespaart gemiddeld 10-20% op ruimtekoeling.
- Een koelsysteem met een hoog rendement (COP 4,5) vervangt hier een systeem met gemiddeld COP=3.

Verlichting

- Voor LED verlichting is een besparing van 50% op het elektriciteitsverbruik voor verlichting aangenomen, maar wordt 36% wanneer eerst verlichtingsregelingen en/of daklichten worden toegepast.
- De besparing door de verlichtingsregelingen zijn gebaseerd op gemiddelde besparingspercentages voor andere utiliteitsgebouwtypen. We veronderstellen hier min of meer dezelfde gebruikstijden.

Productkoeling

- Isoleren van de koel/vrieshuizen levert 10% besparing op. Dat is een eigen inschatting vanuit het idee dat koel/vrieshuizen/datacenters al heel goed geïsoleerd zijn.
- We rekenen met voor de besparing van een efficiëntere koelinstallatie bij gekoelde bedrijfshallen en datacenters met verbetering van de COP van 3 naar 5,5 voor de koelcellen.
- Besparing door regelingstechniek is 10% (eigen inschatting).

¹¹ <https://www.stimular.nl/maatregelen/zomernachtventilatie/>

Datacenters

- Op het ICT server verbruik verminderen valt het meest te winnen
- Op koeling 3% besparing door een hogere koeltemperatuur volgens Stimular¹²
- Koeling is 25%¹³ van het elektriciteitsverbruik van de serverruimte. Daar zou je door vrije koeling 40 tot 95%¹⁴ op kunnen besparen. We rekenen met 40%.
- Koeling is 25% van het elektriciteitsverbruik van de serverruimte. COP verbeteren van 3 naar 5,5¹⁵ maar alleen voor het gedeelte dat niet via vrije koeling wordt gedaan. (Adiabatische koeling kan hier ook en heeft een nog hogere COP.)

Ventilatie

- Een tijdschakelaar bespaart 55% op het elektriciteitsverbruik van het ventilatiesysteem.

Tabel 11: Aanname besparingspercentages op energiefunctie van energiebesparende maatregelen (NB: hier is steeds het besparingspercentage op de energiefunctie aangegeven indien het de 1^{ste} maatregel is die getroffen wordt)

		Gas	Elektriciteit
		Besparing op energiefunctie %	Besparing op energiefunctie %
Energiefunctie	Besparingsmaatregelen		
Ruimte-verwarming	Dakisolatie (percentage vanaf ongeïsoleerd) (bron: EPS bedrijventerreinen, TNO) (1/2 van dit percentage aangenomen voor middelste bouwjaarklasse en 1/3e van dit percentage voor 'na 2012')	34%	
	Gevelisolatie met gevelplaten met sandwichpanelen (percentage vanaf ongeïsoleerd) (bron: EPS bedrijventerreinen, TNO) (1/2 van dit percentage aangenomen voor middelste bouwjaarklasse en 1/3 van dit percentage voor 'na 2012')	15%	
	HR ketel t.o.v. CV/VR ketel referentie (niet van toepassing voor bouwjaar 'na 2012')	19%	
	Heaters vervangen door IR panelen	Bespaart 100% (op resterend gasverbruik na vorige maatregelen)	Ontsparring op elektriciteit afhankelijk van gasverbruik gebouwtype
	Geïsoleerde deur/dockshelters/luchtgordijnen	6%	
	Operationele inefficiency: verwarming buiten gebruikstijd voorkomen/regelingen ketel	Afhankelijk van bouwjaarklasse en vorige maatregelen	
	Hybride/all-electric warmtepomp	50%/100% (op resterend gasverbruik na vorige maatregelen)	Ontsparring op elektriciteit afhankelijk van gasverbruik gebouwtype

¹² <https://www.stimular.nl/maatregelen/warme-en-koude-gangen-in-serverruimtes/>

¹³ <https://www.stimular.nl/maatregelen/bespaar-bij-servers-en-serverruimtes/>

¹⁴ <https://www.stimular.nl/maatregelen/vrije-koeling-serverruimte>

¹⁵ <https://www.stimular.nl/maatregelen/Energiezuinige-koelmachine-voor-koeling-serverruimte/>

		Gas	Elektriciteit
		Besparing op energiefunctie %	Besparing op energiefunctie %
Ruimte-koeling	Dakisolatie (zelfde percentages als voor ruimteverwarming)	34%	
	Zomernachtventilatie/passieve koeling (bespaart gem. 10-20% op ruimtekoeling)	15%	
	Koelsysteem met hoog rendement (COP 4,5)	33%	
Verlichting	LED lampen		50%
	Verlichtingsregelingen		Veegpuls: 5% Aanwezigheid: 10% Daglichtafh: 15%
	Daklichten (ramen in het dak)		15%
Product-koeling	Isolatie		10%
	Energiezuinige koelinstallatie (COP 5,5)		45%
	Regelingstechniek		10%
Datacenters	Gebruik ICT servers (inzet servers afstemmen op vraag, virtualisatie)		10% en 10% (op energiefunctie ICT-centraal)
	Besparing op koeling (hogere koeltemperatuur, vrije koeling, energiezuinige koeling)		Totaal 57% (eerst 3% besparing door hogere koeltemp, dan helft vh jaar besparing door vrije koeling omgevingslucht (oa in winter) 40% besparing, tot slot besparing door verbetering COP van 3 naar 5,5 op resterende elek verbruik koeling)
Ventilatie	Tijdschakelaar toepassen om ventilatie buiten bedrijfstijd te voorkomen		55%
Opwekking elektriciteit	Zon-PV (kWh/m ² dakoppervlak)		180 kWh/m ² = 200W/m ² * 90% (PR)

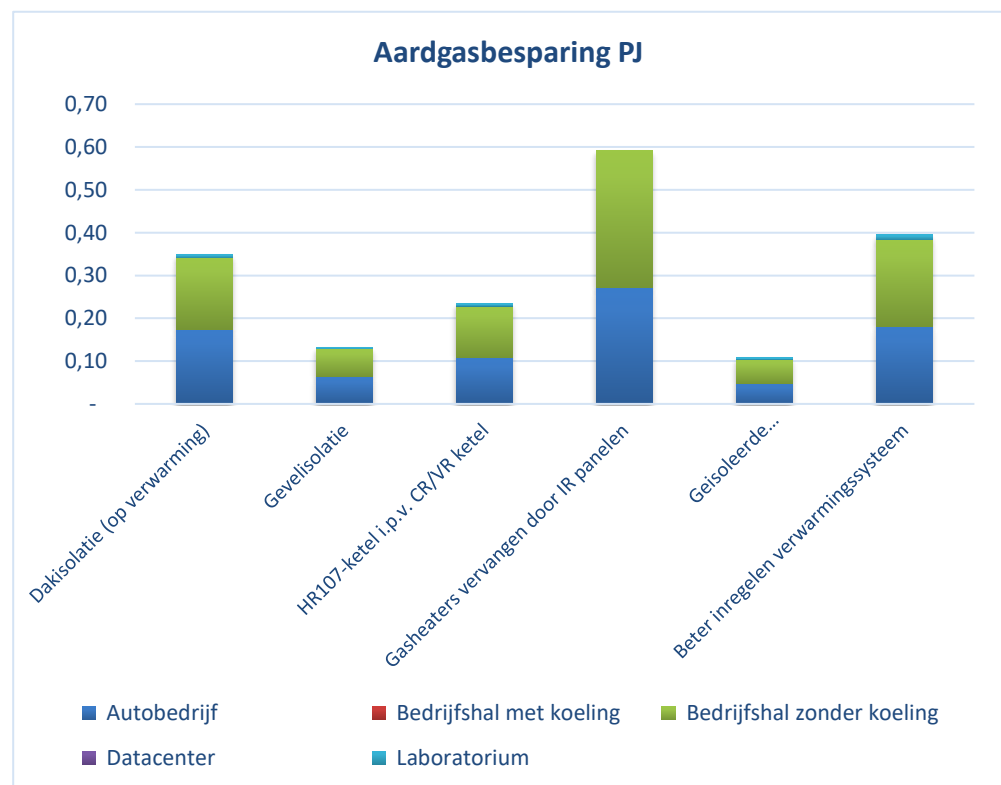
5.4 Besparingspotentieel met verdere onderverdelingen

De aardgasbesparing per maatregel met onderscheid naar gebouwtype is weergegeven in Figuur 12. De elektriciteitsbesparing per maatregel met onderscheid naar gebouwtype is weergegeven in Figuur 13.

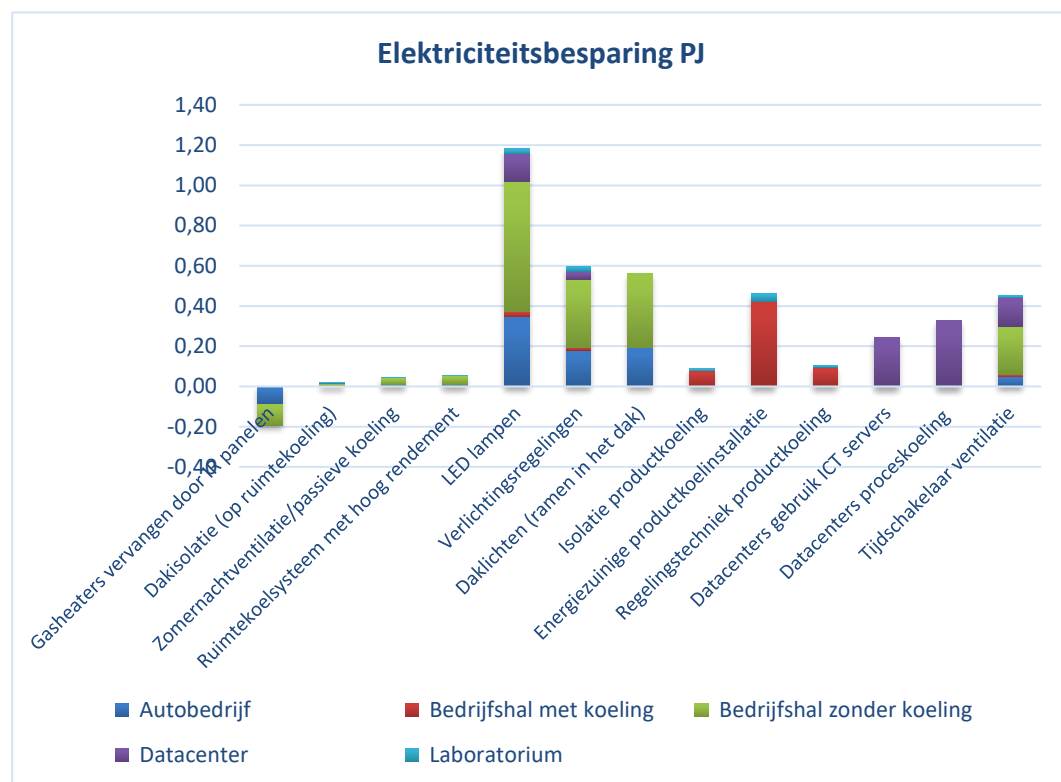
De grootste besparing is mogelijk op verlichting door middel van LED-verlichting, regelingen om branduren te verminderen en door beter gebruik te maken van daglichtintrede.

Voor de op werktemperatuur verwarmde hallen kan gasbesparing worden bereikt door na-isolatie, door het tegengaan van warmteverlies door deuropeningen, aardgas-reducerende of aardgasvrije verwarmingstechnieken en door het beter inregelen van de verwarmingsinstallatie. De besparing door hybride of all-electric warmtepompen, waartussen gekozen moet worden, mag er nog bij opgeteld worden. Voor bedrijfshallen die niet verwarmd worden op werktemperatuur zijn de besparingsopties op ruimteverwarming echter beperkt. We gaan daar wel uit van de toepassing van warmtepompen om aardgasvrij te worden.

Het totale besparingspotentieel op gas en elektriciteit van de maatregelen is 5,8 PJ (dat is nog exclusief warmtepompen). Hiervan is 1,8 PJ besparing op aardgas. De besparing is 11% van het totale energieverbruik (50 PJ). Dit resultaat is verklaarbaar als gevolg van onder andere de aannames over de toepasbaarheid van maatregelen, de penetratiegraad van maatregelen en de onderverdeling van het energieverbruik naar functies. Belangrijke reden voor de beperkte aardgasbesparing is dat bij vorstvrije gebouwen de maatregelen voor aardgasbesparing niet toepasbaar zijn.

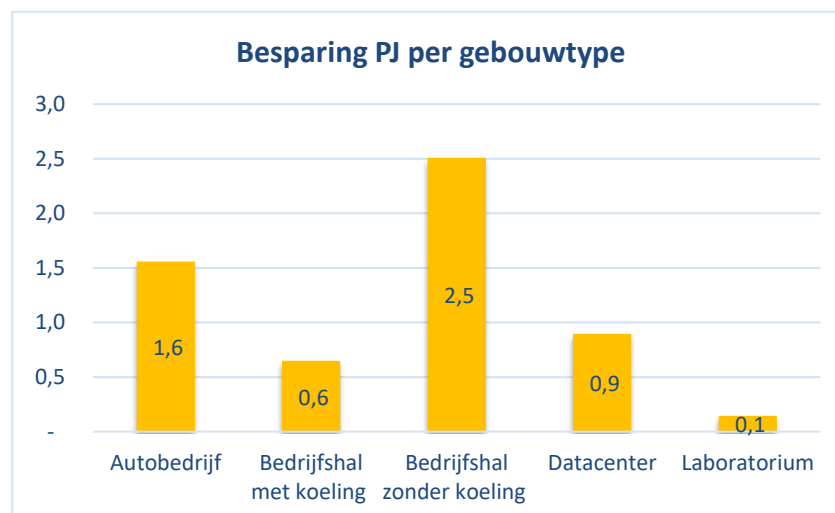


Figuur 12: Onderverdeling aardgas besparing (PJ) per maatregel naar bouwtype



Figuur 13: Onderverdeling elektriciteitsbesparing (PJ) per maatregel naar gebouwtype

Figuur 14 laat zien hoe de totale besparing is onderverdeeld naar gebouwtype (dit is exclusief warmtepompen). De grootste besparing is mogelijk bij bedrijfshallen zonder koeling. Dit is ook het gebouwtype binnen bedrijfshallen met veruit de meeste vierkante meters en het hoogste energieverbruik. Daarna zit de meeste potentiële besparing bij autobedrijven, gevolgd door datacenters, bedrijfshallen met koeling en laboratoria.



Figuur 14: Resultaat besparing (PJ) per gebouwtype

Tabel 12 toont de totale besparing per energiefunctie ten opzichte van het totale energieverbruik (dit is exclusief warmtepompen).

Tabel 12 Besparingspotentieel bedrijfshallen in totaal per energiefunctie (exclusief besparing warmtepompen)

Totaal bedrijfshallen	Energie-verbruik totaal (PJ)	Besparing op aardgas (PJ)	Besparing op elektriciteit (PJ)	Besparing totaal (PJ)	Besparing op energiefunctie (%)
Ruimte-verwarming	20,0	1,8	-0,2	1,6	8%
Ventilatie	1,6	-	0,5	0,5	28%
Koeling	2,1	-	0,4	0,4	21%
Productkoeling	1,3	-	0,7	0,7	49%
Verlichting binnen	6,2	-	2,3	2,3	38%
ICT-centraal	6,0	-	0,2	0,2	4%
ICT-decentraal	1,0	-	-	-	0%
Overig	11,9	-	-	-	0%
Totaal	50,1	1,8	3,9	5,8	11%

Voor de besparing van warmtepompen is rekening gehouden met het type verwarmingsinstallaties dat aanwezig is; de gasbesparing geldt alleen voor de vierkante meters verwarmd met een gasketel die overstappen op een warmtepomp. Door over te gaan op hybride warmtepompen kan nog eens 5,9 PJ aardgas worden bespaard (waarvoor 2,1 PJ elektriciteit nodig is). Door in plaats hiervan over te gaan op all-electric warmtepompen kan 11,8 PJ aardgas worden bespaard (waarvoor 4,1 PJ elektriciteit nodig is).

De totale aardgasbesparing van alle maatregelen inclusief all-electric warmtepompen komt daarmee uit op 13,6 PJ. Dit telt niet op tot het totale energieverbruik voor ruimteverwarming van 20 PJ. Niet alle gebouwen worden verwarmd met gasgestookte CV-ketels (zie figuur 10). Van de totale vierkante meters wordt in 2020 63% verwarmd met gasketels¹⁶ en die kunnen met de vervanging van een ketel door een warmtepomp aardgasvrij worden gemaakt. Dan resteert nog 37% van het energieverbruik voor ruimteverwarming ofwel 7,4 PJ van verwarming door andere installaties dan gasketels met mogelijk ook andere energiedragers. Er blijft nu echter maar 6,4 PJ energieverbruik voor ruimteverwarming over. Dat komt omdat er ook nog aardgasbesparing is bij de voorraad die 'op werkteemperatuur' verwarmd wordt met gas heaters en overschakelt op IR-panelen.

Potentieel zon-PV op daken

In deze studie is een vereenvoudigde potentieelschatting gemaakt voor zon-PV op daken van bedrijfshallen. Deze is tot stand gekomen via een aantal aannames, namelijk 1) dat het dakoppervlak gelijk is aan het gebruiksoppervlak, 2) de geschiktheidsfactor (%) van het totale aantal daken o.b.v. bouwjaarklasse/

¹⁶ Een kennishiaat en daarom ook een aanbeveling is om te onderzoeken hoeveel gasverbruik (PJ) voor ruimteverwarming zit bij de verschillende soorten verwarmingsinstallaties.

constructiesterkte, 3) het percentage benut dakoppervlak (%) door panelen ten opzichte van het dakoppervlak op geschikte daken en 4) de zonnestroomproductie die er al is bij deze gebouwen.

De aannames over 2) en 3) zijn afgeronde percentages gebaseerd op een voor de TKI Urban Energy uitgevoerde studie over constructieve beperkingen voor zonnepanelen op bedrijfsgebouwen (SYSTEMIQ et al., 2021). De geschiktheidsfactor o.b.v. constructiesterkte is daarin ca. 50% bij daken van 'oude constructies'. In deze studie verstaan we daaronder voor de eenvoud de oudste bouwjaarklasse 'voor 1992'. Bij de andere twee bouwjaarklassen is deze geschiktheid o.b.v. constructiesterkte verondersteld op ca. 67%. Het aandeel van het dak dat gebruikt kan worden om panelen op te leggen, is verondersteld op 75%. Het dak moet langs de randen vrij zijn.

De aanname voor 4) is ontleend aan de totale zonnestroom productie in de dienstensector uit de CBS energiebalans (CBS, 2021c). In 2020 werd 6,7 PJ geproduceerd in de dienstensector (het aanbod). In de onderverdeling naar SBI sector is te zien dat 2,4 PJ wordt geproduceerd in de sectoren G (handel) (en H (vervoer en opslag)). Dit zijn overwegend bedrijfshallen. Deze 2,4 PJ trekken we daarom af van het potentieel.

De potentiële elektriciteitsopwekking met zonnepanelen op daken komt uit op 44 PJ per jaar, waarvan 42 PJ overblijft als rekening wordt gehouden met de huidige productie.

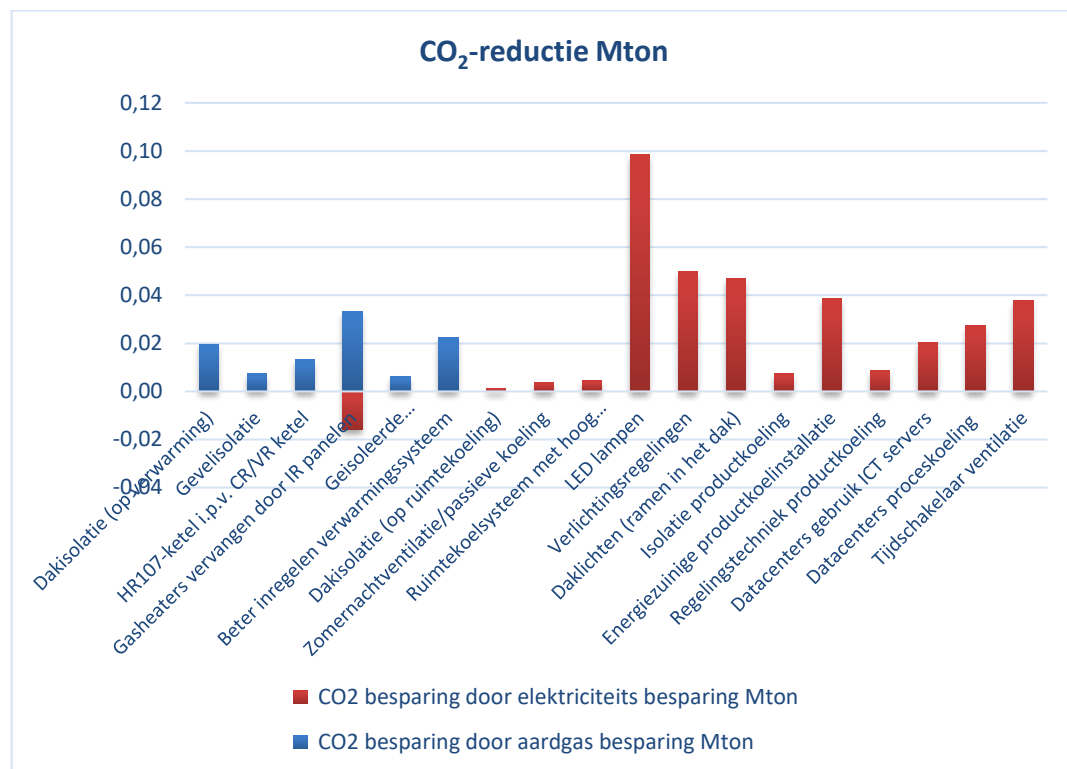
5.5 Bereikte CO₂-emissiereductie

Figuur 15 geeft de potentiële CO₂-reductie per maatregel in 2020 (in totaal 0,4 Mton CO₂-reductie exclusief warmtepompen).

De totale CO₂-reductie door **aardgasbesparing** komt voor de maatregelen exclusief warmtepompen uit op 0,1 Mton. De **indirecte CO₂-reductie door elektriciteitsbesparing** van de maatregelen komt (uitgaande van de elektriciteitsmix in 2020) uit op 0,3 Mton.

Door toepassing van hybride warmtepompen kan hier 0,3 Mton directe CO₂-reductie door aardgasbesparing aan worden toegevoegd. Daarbij hoort een toename van +0,2 Mton indirecte CO₂-uitstoot door toename van de elektriciteitsvraag. Voor all-electric warmtepompen is dit 0,7 Mton directe CO₂-reductie en +0,2 Mton indirecte CO₂-uitstoot. De uitvoering van de diverse maatregelen kan een bijdrage leveren aan de 1 Mton CO₂-reductie doelstelling voor de bestaande utiliteitsbouw voor 2030 uit het Klimaatakkoord (Klimaatakkoord, 2019).

De potentiële elektriciteitsopwekking met zonnepanelen op daken komt uit op 42 PJ per jaar. Door het volledige potentieel voor zon-PV op daken te realiseren wordt (uitgaande van de elektriciteitsmix in 2020) nog eens 3,5 Mton indirecte CO₂-reductie bereikt.



Figuur 15: CO₂-reductie potentieel per maatregel in 2020. Exclusief hybride, all-electric warmtepompen en zon-PV

5.6 Additionaliteit t.o.v. Wet milieubeheer en autonome tempo

Het besparingspotentieel is berekend ten opzichte van de energetische status van de gebouwvoorraad in 2020. In de periode daarna worden al maatregelen getroffen, autonoom (o.a. vervanging, herstel) en als gevolg van het activiteitenbesluit onder de Wet milieubeheer (Wm).

Het activiteitenbesluit stelt dat branches energiebesparende maatregelen moeten nemen die zich binnen 5 jaar terugverdienen (RVO, 2022). Dit geldt voor gebouwen die binnen de verbruiksgrenzen vallen van de Wet milieubeheer. Dat wil zeggen gebouwen die meer dan 25.000 m³ aardgas en/of 50.000 kWh elektriciteit per jaar gebruiken (RVO, 2022). De gebouw grootte is daarvoor meestal relevant; de kleinste gebouwen vallen veelal buiten deze grens. Per bedrijfstak/branche zijn erkende maatregel lijsten (EML) opgesteld met maatregelen die zich meestal binnen 5 jaar terugverdienen, zo ook voor bedrijfshallen, autoschadeherstelbedrijven en datacenters (RVO, 2020a, b, c).

Voor de EML maatregelen is 'eenvoudigweg' nagegaan of deze op de erkende maatregelen lijst (EML) van gebouwen in deze branches staan, zie Tabel 13. Van deze maatregelen is verondersteld dat ze onder huidig beleid al zullen worden uitgevoerd. Maatregelen die hier buiten vallen beschouwen we als additioneel t.o.v. de Wm.

Tabel 13 Welke maatregelen staan op de erkende maatregelen lijsten (EML)?

Maatregel	EML maatregel?
Dakisolatie	Nee
Gevelisolatie	Nee
HR-107 ketel	Ja
Heaters vervangen door IR panelen	Nee
Geïsoleerde deur/dockshelters/luchtgordijnen	Ja
Operationele inefficiency: verwarming buiten gebruikstijd voorkomen/regelingen ketel	Ja, inregelen valt o.a. onder weersafhankelijke regeling en timer/klokthermostaten inzetten
Zomernachtventilatie/passieve koeling	Nee
Koelsysteem met hoog rendement	Nee
LED lampen	Ja
Verlichtingsregelingen (daglicht afhankelijke regeling, veegpuls schakeling, aanwezigheidsdetectie)	Ja, behalve veegpuls
Daklichten (ramen in het dak)	Ja
Isolatie productkoeling	Nee
Energiezuinige productkoelinstallatie	Ja
Regelingstechniek productkoelinstallatie	Ja
Gebruik ICT servers (inzet servers afstemmen op vraag, virtualisatie)	Ja
Besparing op koeling (hogere koeltemperatuur, vrije koeling, energiezuinige koeling)	Ja
Datacenters besparing op inzet servers	Ja, behalve virtualisatie van servers
Datacenters besparing op serverkoeling	Ja
Tijdschakelaar ventilatie	Ja

Er blijft additioneel 1,5 PJ besparing over voor deze maatregelen (dit is exclusief warmtepompen). Het merendeel van de besparing is dus niet additioneel als de EML maatregelen allemaal zouden worden uitgevoerd. Warmtepompen en zon-PV zijn volledig additioneel t.o.v. de Wet milieubeheer.

Vergelijking met TNO rapport over besparing Wet milieubeheer

In het TNO rapport '*Verwachte effecten van de energiebesparingsplicht uit de Wet milieubeheer*' (TNO, 2021) is een berekening gemaakt van het besparingspotentieel van maatregelen in de dienstensector bereikt als gevolg van handhaving van de Wm ten opzichte van een KEV2020 baseline zonder Wm. Uit dit rapport blijkt een totaal besparingspotentieel voor autobedrijven, bedrijfshallen en datacenters van 3,4 PJ. Dit ligt zeer dicht bij het resultaat uit dit onderzoek, namelijk 4,3 PJ besparing onder de Wm.

Additionaliteit t.o.v. het autonome tempo

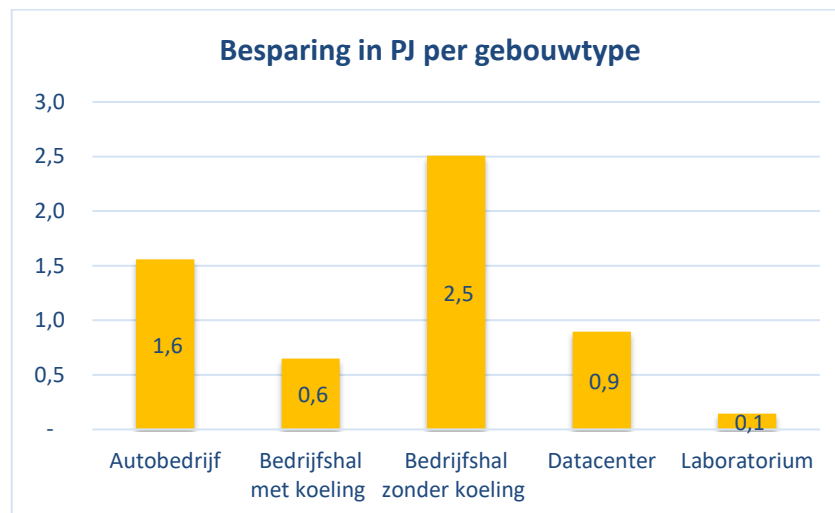
De additionaliteit van de maatregelen t.o.v. het autonome tempo is in dit onderzoek niet in detail geanalyseerd. Een methode hiervoor is om naar de verwachte ingroei van maatregelen in de Klimaat en Energieverkenning te kijken. Dit is hier niet onderzocht. Wel zijn de aantallen maatregelen bij bedrijfshallen vergeleken met de aantallen maatregelen die jaarlijks genomen worden in de RVO Monitoring Energiebesparing Gebouwde Omgeving. Zo gaat het voor platdakisolatie bij bedrijfshallen jaarlijks om ca 1,5 miljoen m² aan dakoppervlak dat geïsoleerd wordt.

Dit is jaarlijks slechts circa 1% van de voorraad in vierkante meters. Dit is het type isolatie-maatregel dat hier het frequentst (qua aantal maatregelen) wordt toegepast, naast het plaatsen van Hr-ketels en zon-PV.

6 Conclusies

6.1 Conclusies bestaande bouw

Het totale besparingspotentieel van de maatregelen is 5,8 PJ; 11% van het totale energieverbruik (dit is exclusief warmtepompen). Deze besparing is voor 1,8 PJ aardgasbesparing en 4,0 PJ elektriciteitsbesparing. In Figuur 16 is deze besparing weergegeven per gebouwtype.



Figuur 16: Resultaat besparing (PJ) per gebouwtype

Het grootste deel van de besparing zit bij bedrijfshallen zonder koeling. Dit is ook het gebouwtype binnen bedrijfshallen met veruit de meeste vierkante meters en het hoogste verbruik. Bedrijfshallen zonder koeling is het gebouwtype met veruit de meeste vierkante meters in de dienstensector en daardoor het hoogste totale energieverbruik. Dit ondanks het relatief lage energieverbruik per vierkante meter ten opzichte van andere gebouwtypen in de dienstensector. Het gegeven dat het energieverbruik per vierkante meter (op individueel pandniveau) zo laag is zal er wel voor zorgen dat het nemen van energiebesparende maatregelen hier minder kosteneffectief is (hogere terugverdientijd) dan bij andere gebouwtypen in de dienstensector die een hoger verbruik (en daardoor hogere potentiële besparing) per vierkante meter hebben. Beleid kan hierop ingezet worden (zie paragraaf 7.3).

De grootste elektriciteitsbesparing is mogelijk op de energiefunctie verlichting (door toepassing LED verlichting, regelingen om branduren te verminderen en door beter gebruik van daglicht). Potentiële besparing op andere energiefuncties die elektriciteit nodig hebben zoals koeling, ventilatie en ICT is beperkter vanwege de bevinding dat het energieverbruik daarvoor lager is.

Op energie voor ruimteverwarming kan in potentie het meest bespaard worden. Voor de op werktemperatuur verwarmde hallen kan aardgasbesparing worden bereikt door betere isolatie, door het tegengaan van warmteverlies door deuropeningen, aardgas-reducerende/aardgasvrije verwarmingstechnieken en door het beter inregelen van de verwarmingsinstallatie. Voor het deel dat niet verwarmd

wordt op werktemperatuur zijn de besparingsopties op ruimteverwarming echter beperkt. We gaan daar wel uit van de mogelijke toepassing van warmtepompen om aardgasvrij te worden. Voor de besparing van warmtepompen is rekening gehouden met het type verwarmingsinstallaties in de gebouwen; de besparing geldt alleen voor het deel dat met een gasketel wordt verwarmd. Dit deel van de voorraad stapt over op een warmtepomp. Door over te gaan op hybride warmtepompen kan nog eens 5,9 PJ aardgas worden bespaard (waarvoor 2,1 PJ elektriciteit nodig is). Door in plaats hiervan over te gaan op all-electric warmtepompen kan 11,8 PJ aardgas worden bespaard (waarvoor 4,1 PJ elektriciteit nodig is). De totale aardgasbesparing van alle maatregelen inclusief all-electric warmtepompen komt daarmee uit op 13,6 PJ.

De totale aardgasbesparing van alle maatregelen inclusief all-electric warmtepompen komt uit op 13,6 PJ. Dit telt niet op tot het totale energieverbruik voor ruimteverwarming van 20 PJ. Niet alle gebouwen worden verwarmd met gasgestookte CV ketels (zie Figuur 10). Van de totale vierkante meters wordt in 2020 63% verwarmd met gasketels en die kunnen met de vervanging van een ketel door een warmtepomp aardgasvrij worden gemaakt. Dan resteert nog 37% van het energieverbruik voor ruimteverwarming ofwel 7,4 PJ van verwarming door andere installaties dan gasketels. Er blijft nu echter maar 6,4 PJ energieverbruik voor ruimteverwarming over. Dat komt omdat er ook nog aardgasbesparing mogelijk is bij de voorraad die 'op werktemperatuur' verwarmd wordt met gas heaters. Deze kunnen worden vervangen door infraroodpanelen.

Deze studie laat zien dat er nog een groot zon-PV potentieel is op daken van bedrijfshallen is. De uitkomst van de analyse is dat er nog 42 PJ elektriciteitsopwekking mogelijk is wanneer alle geschikte daken vol worden gelegd met zonnepanelen.

6.2 Besparing wanneer nieuwbouw voldoet aan de BENG eisen

Een van de aanvullende vragen die is gesteld luidt als volgt:

“Wat is het besparingspotentieel wanneer nieuwe bedrijfshallen aan de BENG eisen (nieuwbouw energieprestatie-eisen) moeten voldoen?”

In de Klimaat- en Energieverkenning wordt uitgegaan van 16,8 miljoen m² nieuwbouw gebruiksoppervlakte aan bedrijfshallen in de periode 2021 tot en met 2030. Het duurt echter even voordat BENG wetgeving voor bedrijfshallen ingevoerd is en in werking kan treden. Vervolgens is er nog een vertraging tussen bouwaanvraag en realisatie. Eigenlijk kunnen we daarom beter uitgaan van hooguit de helft daarvan. De rekenwaarde hebben we gekozen op 8 miljoen m².

De extra besparing bij BENG-eis bepalen we als volgt:

- Nieuwbouw bedrijfshallen die bestemd zijn om te worden verwarmd of gekoeld ten behoeve van personen moeten al voldoen aan isolatie-eisen (conform Artikel 5.3 van het Bouwbesluit¹⁷). Daar is dus geen extra besparing meer mogelijk door na-isolatie. Voor nieuwbouw hallen die niet bestemd zijn voor verwarming van personen (hetgeen frequent voorkomt) is een uitzondering gemaakt in het bouwbesluit en deze hebben dus geen isolatie-eisen (zie Artikel

¹⁷ Zie [Hoofdstuk 5. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van energiezuinigheid en milieu | Bouwbesluit Online](#)

5.5¹⁸ van het Bouwbesluit). We gaan toch ook daarbij uit van geen extra besparing door na-isolatie, vanwege het gegeven dat hier niet 'op werktemperatuur' verwarmd wordt.

- Wel zien we bij andere utiliteitsgebuuwtypen dat bij de gebouwen die aan de BENG-eisen voldoen meestal een all-electric warmtepomp wordt toegepast. De gasbesparing is hier berekend uitgaande van een all-electric warmtepomp. De gasbesparing in m³/m² nemen we gelijk aan het gasverbruik per m² van de bouwjaarklasse gebouwd na 2012. Daarbij maken we nog het onderscheid naar verwarmde en vorstvrije bedrijfshallen in dezelfde verhouding als gevonden voor de bestaande bouw. De toename in elektriciteitsverbruik is berekend uitgaande van een gemiddelde COP van 3 voor de warmtepomp.
- In gebouwen die voldoen aan BENG wordt verder altijd zon-PV toegepast: gemiddeld gaat het om 5 kWh/m² (gemiddeld is de benodigde opwekking relatief laag). Aanname is wederom dat het dakoppervlak gelijk is aan het gebruiksoppervlak. Het percentage van het dakoppervlak dat gebruikt kan worden veronderstellen we op 75%.
- Voor de elektriciteitsbesparing door maatregelen voor verlichting, ruimtekoeling en ventilatie mogen we op basis van de besparing voor de bestaande bouw 'na 2012' aannemen dat dit hier 10% besparing oplevert.

Resultaten samengevat:

- Toepassing van warmtepompen levert 0,3 extra gasbesparing op en 0,1 extra elektriciteitsgebruik. Netto dus een extra besparing van 0,2 PJ.
- Toepassing van zon-PV op geschikte daken kan zorgen voor 0,1 PJ extra productie van zonnestroom. In theorie kan wanneer de daken wel vol liggen ca 4 PJ zonnestroom worden opgewekt (wat niet noodzakelijk is om te voldoen aan de BENG-eis).
- De extra besparing door maatregelen voor verlichting, ruimtekoeling en ventilatie bedraagt 0,1 PJ.

¹⁸ [Artikel 5.5 Gebruiksfunctie met een lage energievraag | Bouwbesluit Online](#)

7 Kennishiaten en aanbevelingen beleid en vervolgonderzoek

In dit hoofdstuk vatten we de belangrijkste kennishiaten van dit onderzoek nog eens samen en geven we aanbevelingen voor vervolgonderzoek en voor aanvullend beleid.

7.1 Kennishiaten

De berekende energiebesparing is een onderschatting, omdat we met een te laag aantal vierkante meters voor de gebouwvoorraad gerekend vanwege missende bedrijfshallen in de BAG en we hebben energie-intensiteiten van bedrijfshallen niet omhoog geschaald om op het energieverbruik uit de CBS energiebalans voor de dienstensector (82 PJ) uit te komen. Er is in werkelijkheid dus meer besparingspotentieel, omdat er meer energieverbruik is bij bedrijfshallen.

De energie-intensiteiten uit het CBS dashboard logistiek zijn behandeld als representatief voor het gebouwtype 'bedrijfshallen'. Het is voorlopig onduidelijk hoe representatief de intensiteiten voor logistiek zijn voor de gehele voorraad. Echter weten we al dat de werkelijke voorraad in vierkante meters van bedrijfshallen groter is en dit verklaart (naar onze huidige inzichten) het hogere energieverbruik en dus niet alleen de lagere energie-intensiteiten.

Wanneer nu toch gerekend zou worden met 82 PJ totaal verbruik voor bedrijfshallen (top-down) en voor de rest identieke aannames, dan zou het totale besparingspotentieel uitkomen op 9 PJ (exclusief warmtepompen). Dit zou zelfs op 24 PJ uitkomen wanneer alle gasketels worden vervangen door all-electric warmtepompen (en 1,4 Mton directe CO₂-reductie door aardgasbesparing).

De grootste besparing is mogelijk bij bedrijfshallen zonder productkoeling. Het is nodig om tot beter begrip te komen wat hier naast logistiek nog meer onder valt en welke energieverbruik achter deze gebouwen schuil gaat.

7.2 Aanbevelingen vervolgonderzoek

De belangrijkste onzekerheden in dit onderzoek hebben betrekking op de inschatting van het energieverbruik van bedrijfshallen en hoe deze wordt ingevuld. Dit is gerelateerd aan het gebruiksoppervlak en de energie-intensiteiten per gebouwtype en de invulling is met name gerelateerd aan hoe verwarmd wordt en welke soorten activiteiten er plaatsvinden.

Op basis van de kennishiaten doen we hierbij een aantal suggesties voor vervolgonderzoek:

- Beter in kaart brengen gebouwvoorraad (gebouwmatrix), missende vierkante meters van bedrijfshallen in de BAG
- Inschatting opdeling naar bouwjaarklassen voor gebouwtype 'bedrijfshal (met – en zonder koeling)' binnen dienstensector verbeteren
- Verschillen in energie-intensiteit van bedrijfshallen in verschillende sectoren onderzoeken.

- Hoe worden hallen verwarmd onderzoeken; o.a. wat is op werktemperatuur precies?
- Energy audits of slimme meterdata van een grote groep bedrijfshallen (zonder koeling) analyseren om het energieverbruik te analyseren en de onderverdeling van het energieverbruik naar energiefuncties. Een actualisatie hiervan is gewenst.

Totale gebouwvoorraad bedrijfshallen in beeld brengen

Om het totale energieverbruik beter in kaart te brengen moeten de gegevens over de gebouwvoorraad (in de gebouwmatrix) eerst bijgewerkt worden door missende gebouwen toe te voegen. De bedrijfshallen zonder adres, verblijfsobject en gebruiksoppervlakte hebben wel een BAG id nummer. In de BAG kan dus geanalyseerd worden hoeveel panden dat zijn en via GIS analyses kan het grondoppervlak worden bepaald. Aangezien bedrijfshallen meestal geen verdiepingen hebben, kan dat een goede schatting van het extra gebruiksoppervlak geven. Het probleem is dat er ook veel bedrijfshallen zijn in andere sectoren dan de dienstensector, zoals de landbouw, de industrie en energiesector. Om te bepalen in welke sector deze panden thuis horen, moet je ze eigenlijk koppelen aan een naastgelegen pand met adres. Die adressen kun je dan koppelen met het Handelsregister. De vraag is hoe je dat doet. In het kader van de Klimaat en energieverkenning gaat CBS daar in de eerste helft van 2022 onderzoek naar doen voor de sector logistiek.

Verschillen in energie-intensiteit bedrijfshallen in verschillende sectoren

Verder is het nodig om de representativiteit van de energie-intensiteiten voor de gehele voorraad nader te analyseren. Nu gebruiken we voor bedrijfshallen zonder koeling de energie-intensiteit van de sector logistiek. De vraag is of bedrijfshallen in verschillende sectoren niet een heel verschillende energie-intensiteit hebben. Dit zou kunnen via een analyse op micro-data van het CBS,

Hoe worden bedrijfshallen verwarmd?

Voor een betere inschatting van de besparing is meer inzicht vereist in hoe bedrijfshallen verwarmd worden: Wat betekent verwarmen op werktemperatuur en welke temperatuur hoort daarbij? Wordt het gehele gebouw verwarmd of alleen lokaal? (lokaal verwarmen is een belangrijke besparende maatregel). Welke installaties verwarmen welk aandeel (%m²) van het gebouw en welke verbruik hoort daarbij? Ook inventariseren welk deel van de gebouwvoorraad helemaal niet verwarmd wordt hoort hierbij. Aanbeveling is dan ook om hier vervolgonderzoek naar te doen. Dit vervolgonderzoek moet een voldoende grote steekproef betrekken. Panteia heeft in 2021 zo'n 500 bedrijfshallen ondervraagd. Een deel hiervan valt in de industrie en niet binnen de dienstensector. Echter, na onderverdeling naar gebouwtype en daarbinnen nog naar verwarmd en vorstvrij leidt dit al tot behoorlijke reducties in de populatiegrootte. Aangezien er meer dan 300.000 bedrijfshal vbo's zijn in Nederland is een grotere steekproef zeker haalbaar en ook belangrijk voor meer inzicht. Panteia is een onderzoek onder gebouwbeheerders. Om betrouwbare informatie te verzamelen, is het aan te bevelen een onderzoek te doen dat gebruik maakt van inspecties.

Actualisatie verdeling naar energiefuncties

Meer inzicht in de verdeling van energieverbruik naar energiefuncties is gewenst. Er gaat dit jaar onderzoek lopen bij TNO in het kader van verrijkte BAG dat hier invulling aan zou kunnen geven. De bedoeling is daarbij te leren van de verdeling naar energiefuncties die door adviseurs bij energiescans worden gemaakt.

Het gasverbruik gaat in de onderverdeling die is gemaakt in dit onderzoek volledig op aan ruimteverwarming. Er zullen echter ook een paar overige energiefuncties zijn die ook relatief beperkte hoeveelheden aardgas gebruiken (ook niet-gebouw gebonden). Aanbeveling is om te onderzoeken hoeveel aardgas in deze gebouwtypen gebruikt wordt voor andere toepassingen dan voor ruimteverwarming. Voor de voorraad bedrijfshallen in de industrie (buiten de dienstensector) is er wel een significant niet-gebouw gebonden gasverbruik.

Een kennishiaat en daarom ook een aanbeveling is om te onderzoeken hoeveel gasverbruik (PJ) voor ruimteverwarming zit bij de verschillende soorten verwarmingsinstallaties.

7.3 Aanbevelingen voor beleid

De Wet milieubeheer verplicht instellingen al tot het nemen van maatregelen die zich binnen 5 jaar terugverdienen. Voor de maatregelen die al op de EML staan hebben aanvullende beleidsmaatregelen geen zin. Voorwaarde daarbij is natuurlijk wel dat de uitvoering van deze maatregelen gehandhaafd wordt door het bevoegd gezag.

Voor niet-EML maatregelen zoals isolatie, warmtepompen en zon-PV ligt dit anders. Deze (duurdere) maatregelen staan momenteel niet op de EML en zijn dus niet verplicht om toe te passen omdat de terugverdientijd hiervan langer is dan 5 jaar (NB: dit zou inmiddels al niet meer zo hoeven te zijn voor een aantal van deze maatregelen vanwege de hogere gasprijzen in 2022). Voor maatregelen met een langere terugverdientijd is de Energie-investeringsaftrek (EIA) voor ondernemers van toepassing. Deze regeling zorgt ervoor dat ondernemers 45,5% van de investeringskosten kunnen aftrekken van hun winst. Dit zorgt voor ca 11% belastingvoordeel (RVO, 2022b). Momenteel is het tempo waarin maatregelen als isolatie, warmtepompen en zon-PV genomen worden nog beperkt. Het is met de huidige gasprijzen te verwachten dat komende tijd meer geïnvesteerd zal worden in deze maatregelen. Het is mogelijk om meer financiële beleidsinstrumenten in te zetten als de uitvoering van maatregelen toch onverhoopt achterblijft. Hierbij valt te denken aan subsidies en een verhoging van de energiebelasting op aardgas. Verder kunnen informatiecampagnes helpen in de bewustwording over verduurzaming bij investeerders.

Voor bestaande bedrijfshallen een energieprestatie maat (vergelijkbaar aan de energielabel-methode/NTA8800 methode) te ontwikkelen helpt om het besparingspotentieel beter in kaart te brengen. Dit helpt met gebouwen te scoren op de energieprestatie en om besparingsopties te identificeren. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt tussen verwarmde, vorstvrij gehouden en gekoelde delen van het gebouw (deze gebieden van elkaar scheiden is een belangrijke besparende maatregel). Belangrijk is ook rekening te houden met verwarming van het gehele gebouw of alleen lokale verwarming van werkplekken.

Meer focus voor zon-PV op daken is een goed idee, maar de hoge terugverdientijd vanwege de lage tarieven voor middelgrote- en grote verbruikers is een belemmering om zelf te investeren. Daken beschikbaar stellen aan derden (projectontwikkelaars) tegen een huurprijs is mogelijk een manier om de beschikbare daken in te zetten. Verder kan gedacht worden aan aanvullend beleid dat het benutten van daken van bedrijfshallen voor installatie van zonnepanelen interessanter maakt dan zonneweides in landbouwgebied.

Referentielijst

Arcadis (2020). *Beslisboom logistieke gebouwen - Paris Proof meet methodiek* [pdf presentatie en beslisboom rekensheet verduurzaming]

Brink Management/Advies (2020). *Impactanalyse streefdoel 2030*. [Eindrapportage]. Brink Management/Advies, Eindhoven. Opgehaald van : <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/04/13/impactanalyse-streefdoel-2030>

CBS (2021a). *Gebouwenmatrix 1-1-2014, 1-1-2018, 1-1-2019, 1-1-2020*. (Laatste wijziging: 12-3-2021 00:00). Opgehaald van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2021/10/gebouwenmatrix-1-1-2014-1-1-2018-1-1-2019-1-1-2020>

CBS (2021b). *Dashboard Energieverbruik grootschalig logistiekvastgoed*. Opgehaald van: https://dashboards.cbs.nl/v3/energieverbruik_logistiekvastgoed/

CBS (2021c). *Energiebalans; aanbod en verbruik, sector* (Gewijzigd op: 16 december 2021). Opgehaald van: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83989NED/table?dl=58AD6>

CBS (2020). *Elektriciteit geleverd aan datacenters, 2017-2019*. Opgehaald van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2020/51/elektriciteit-geleverd-aan-datacenters-2017-2019>

ECN (2013). *Maatregelen en het activiteitenbesluit autohandel en reparatiebedrijven*. ECN Beleidsstudies, Amsterdam

ECN (2016). *Ontwikkeling energie-kentallen utiliteitsgebouwen - Een analyse van 24 gebouwtypen in de dienstensector en 12 industriële sectoren*. ECN Beleidsstudies, Amsterdam

ECN (2017). *Verkenning Utiliteitsbouw*. ECN Beleidsstudies, Amsterdam

Klimaatakkoord (2019). *Klimaatakkoord hoofdstuk gebouwde omgeving*. Opgehaald van: <https://www.klimaatakkoord.nl/gebouwde-omgeving/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord-hoofdstuk-gebouwde-omgeving>

Meijer (2009). *Energieverbruik per functie voor SenterNovem*. Meijer Energie- & Milieumanagement BV, Den Haag.

MKB EnergyCheckUp (2021a). *Energy CheckUp scan – bedrijfshal*. MKB ENERGY CHECKUP, Deventer. Opgehaald van: <https://energycheckup.nl/pagina-2/ik-heb-een-bedrijfshal/>

MKB EnergyCheckUp (2021b). *Energy CheckUp scan – Datacenter of ICT bedrijf*. MKB ENERGY CHECKUP, Deventer. Opgehaald van: <https://energycheckup.nl/pagina-2/ik-heb-een-ict-bedrijf/>

NEKROVI (2021). *Vereniging van Nederlandse Koel- en Vrieshuizen- Ledenlijst*. Opgehaald van (12-12-2021): <https://www.nekovri.nl/index.php/ledenlijst/ledenlijst>

PBL (2021). *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2021*. Rapport, tabellenbijlage en KEV-database. Rapport en tabellenbijlage opgehaald van: <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2021>

Panteia (2021). *Renovaties in de Utiliteit - Onderzoeksverantwoording meting 2021*. Panteia, Zoetermeer

RVO (2020a). *Erkende Maatregelenlijst Energiebesparing (EML) Bedrijfstak 18 - Bedrijfshallen*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Den Haag

RVO (2020b). *Erkende Maatregelenlijst Energiebesparing (EML) Bedrijfstak Autoschadeherstelbedrijven*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Den Haag

RVO (2020c). *Erkende Maatregelenlijst Energiebesparing (EML) Bedrijfstak 06 - Commerciële datacenters*. EML datacenters. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Den Haag

RVO (2020d). *Berekening van de standaard CO2-emissiefactor aardgas t.b.v. nationale monitoring 2021 en emissiehandel 2021*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Utrecht

RVO (2021a). *MJA-Sectorrapport 2020 Koel- en vrieshuizen*. MJA3-monitoring 2020. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Utrecht

RVO (2021b). *Informatieplicht energiebesparing uitgevoerde erkende maatregelen per bedrijfstak*. Feiten en cijfers informatieplicht energiebesparing. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Utrecht. Opgehaald van: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-besparen/informatieplicht-energiebesparing/bedrijven-en-instellingen/feiten-en-cijfers>

RVO (2021c). *Monitoring Energiebesparing Gebouwde Omgeving 2021*. Monitoringscijfers t/m 2020. Analyse door TNO. Rapport opgehaald van: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/energiecijfers-gebouwen>

RVO (2022). *Activiteitenbesluit gebouwen*. Opgehaald van: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/bestaande-bouw/activiteitenbesluit>

RVO (2022b). *Energie-investeringsaftrek (EIA) voor ondernemers*. Opgehaald van: <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/eia/ondernemers>

Savills (2021). *Memo eerste aanzet tot analyse en segmentering van de logistieke vastgoedmarkt*. Savills Consultancy, Amsterdam. Opgehaald van: <https://www.dgbc.nl/publicaties/marktanalyse-logistiek-potentie-tot-verduurzaming-33>

SYSTEMIQ, EversPartners, TKI Urban Energy & Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2021). *Constructieve beperkingen voor zon-op-dak in utiliteitsbouw*. Opgehaald van: <https://www.topsectorenergie.nl/agenda/webinar-constructieve-beperkingen-voor-zon-op-dak-utiliteitsbouw>

Nieman (2021). *Bedrijfshallen: Nieuwe kansen voor verduurzaming – Handvatten voor integraal maatwerk*. Nieman Raadgevende Ingenieurs (in opdracht van TKI Urban Energy). Opgehaald van: https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Whitepaper_TKI-RVO_Bedrijfshallen_DEF.pdf

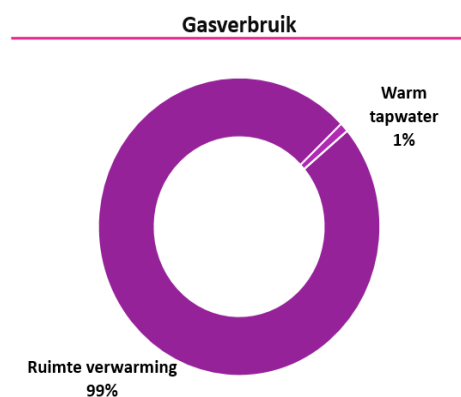
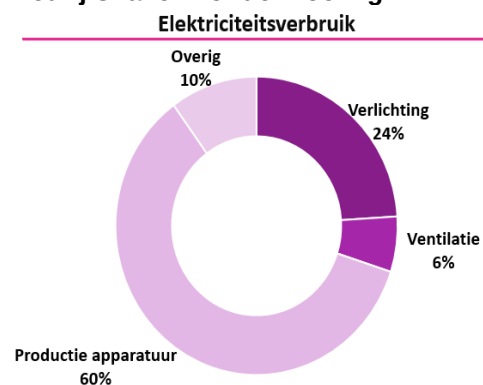
TNO (2020). *Paris Proof monitor: openbare rapportage van het project Route Energie Duurzaam kantoren*. TNO, Amsterdam

TNO (2021). *Verwachte effecten van de energiebesparingsplicht uit de Wet milieubeheer*. TNO EnergieTransitie, Amsterdam

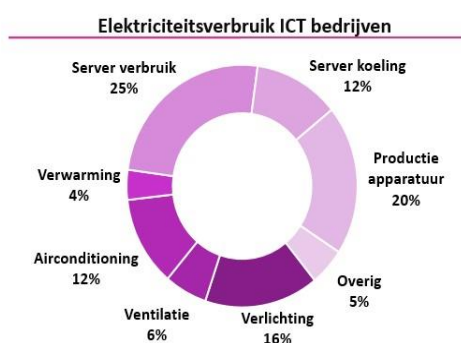
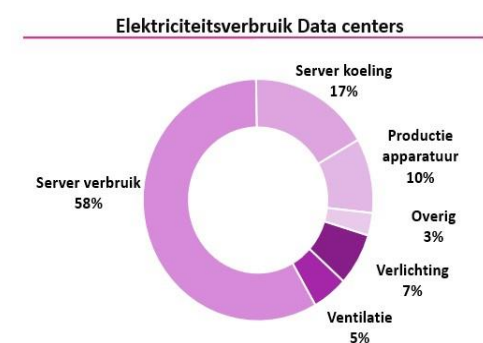
A Detailoverzichten aannames

Onderverdelingen energiefuncties per gebouwtype (MKB energy check-up, 2021a,b)

Bedrijfshallen zonder koeling:



Elektriciteitsverbruik datacenters:



Tabel A.1 Hoe worden hallen verwarmd in 2020? Aantallen gebouwen (N) en gebruiksoppervlak (in vierkante meters) met ratio's
(bron: Panteia monitoringsonderzoek database, 2021)

	Aantal N	%N	miljoen m ²	%m ²
Bedrijfshallen respondenten totaal *	339	100%	1,35	100%
Waarvan ruimte 'verwarmd' (inclusief vorstvrij)	194	57%	0,57	43%
Verwarmingsketels (één of meerdere)	120	62%	0,36	63%
Elektrische kachels (één of meerdere)	23	12%	0,07	12%
Stadsverwarming	9	5%	0,02	4%
WKO	4	2%	0,01	2%
Warmtepompen	7	4%	0,01	3%
WKK	4	2%	0,01	1%
Een ander systeem	27	14%	0,09	16%
Totaal antwoorden met welke installatie verwarmd **	234		0,76	
Subtotaal antwoorden met welke installatie verwarmd (exclusief een ander systeem)	167		0,48	
Subtotaal op andere wijze verwarmd (een ander systeem)	67		0,27	
Waarvan met een gas heater	45		0,22	
Waarvan met een ander systeem	22		0,05	

* De hier getoonde selectie bevat 'bedrijfshal groothandel' en 'bedrijfshal vervoer en opslag'. Dit is dus exclusief productiehallen in de industrie ('bedrijfshal industrie').

** De N is hier hoger dan van 'Waarvan ruimte 'verwarmd' (inclusief vorstvrij)' aangezien sommige gebouwen meerdere soorten verwarmingsinstallaties hebben.

Tabel A.2 Hoe worden hallen gekoeld in 2020? Aantallen gebouwen (N) en gebruiksoppervlak (in vierkante meters) met ratio's
(bron: Panteia monitoringsonderzoek database, 2021)

	AantalN	%N	miljoen m ²	%m ²
Bedrijfshallen respondenten totaal *	339	100%	1,35	100%
Waarvan ruimte 'gekoeld'	74	22%	0,37	28%
Airconditioning systeem	26	35%	0,07	20%
Topkoeling	5	7%	0,02	5%
Losse airco units	10	14%	0,03	8%
Via losse ventilatoren in het plafond of op tafel	6	8%	0,03	8%
Een ander systeem	27	36%	0,22	59%
Een ander systeem (nadere onderverdeling)	27	100%	0,22	100%
Met behulp van de vries- en koelcellen	13	48%	0,11	50%
Door middel van een CO ₂ -installatie (met ammoniak)	5	19%	0,05	22%
Adiabatische/verdampingskoeling	3	11%	0,03	12%
Overig	6	22%	0,04	17%

* De hier getoonde selectie bevat 'bedrijfshal groothandel' en 'bedrijfshal vervoer en opslag'. Dit is dus exclusief productiehallen in de industrie ('bedrijfshal industrie').