

Potentie energiebesparing bedrijventerreinen



TNO Publiek | TNO 2024 R10511
21 maart 2024

TNO 2024 R10511 – 21 maart 2024

Potentie energiebesparing bedrijventerreinen

Auteurs	V. Kamphuis R. Niessink R. de Smidt TNO Publiek
Rubricering rapport	TNO Publiek
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	Dit project is gefinancierd als onderdeel van het onderzoeksprogramma Energietransitie Studies onder regie van de directie Klimaat van het DG Energie en Klimaat van het ministerie van EZK met als doel het leveren van kennis voor energiebeleid.
Met ondersteuning van	Lars de Ridder en Jeffrey Sipma

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Methode.....	5
2.1	Uitfilteren van Industrieclusters 1 t/m 5	5
2.2	EPS-berekening	6
2.2.1	Introductie EPS.....	6
2.2.2	Berekening voor Nederland	7
2.3	Correctie energieverbruik.....	7
2.4	Scope energieverbruik en -besparing	8
2.4.1	Scope aardgas	8
2.4.2	Scope elektriciteit.....	9
2.5	Potentieelberekening procesgebonden verbruik.....	9
2.6	Potentieelberekening gebouwgebonden verbruik	10
2.7	Aannames emissiefactoren	10
3	Resultaten	12
3.1	Energieverbruik en CO ₂ -emissie 2020	12
3.2	Potentieel energiebesparing en CO ₂ -reductie	17
4	Conclusie	23
	Referenties	25
Bijlagen		
Bijlage A:	Contouren Industrieclusters 1 t/m 5	27
Bijlage B:	Correctie energieverbruik	33
Bijlage C:	Overzicht procesmaatregelen	34
Bijlage D:	Overzicht gebouwmaatregelen	40
Bijlage E:	Overzicht erkende maatregelen	43

1 Inleiding

Een groot deel van het energieverbruik in Nederland wordt verbruikt op bedrijventerreinen. In 2020 betrof dit bijna de helft (20,4 miljard m³ ofwel 644 PJ) van het totale gasverbruik en bijna een derde (36,6 miljard kWh ofwel 132 PJ) van het totale elektriciteitsverbruik (Kamphuis et al., 2023).

Verduurzaming van deze energievraag kan een belangrijke bijdrage leveren aan het behalen van de klimaatdoelstellingen voor Nederland, én is nodig voor toekomstbestendige bedrijvigheid in Nederland. Verduurzaming van de energievraag kan de energiekosten voor bedrijven verlagen, en hun concurrentiepositie vergroten.

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat werkt met een Nationaal Programma Ruimte voor Economie aan een aanpak voor het beter benutten en verduurzamen van bedrijventerreinen (EZK, 2023a). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee categorieën bedrijventerreinen:

1. Bedrijventerreinen die zijn bestemd voor milieucategorieën 4 t/m 6, waaronder watergebonden locaties;
2. Reguliere en gemengde bedrijventerreinen, waar veel MKB bedrijven gevestigd zijn.

Om grip te krijgen op de verduurzamingsopgave voor deze bedrijventerreinen, en inzicht in de kansen voor verduurzaming, heeft TNO in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat het energieverbruik, de CO₂-uitstoot en het besparingspotentieel voor deze bedrijventerreinen berekend.

De energie-intensieve industrie binnen de industrieclusters 1 tot en met 5 (Noord-Nederland, Noordzeekanaalgebied, Rotterdam-Moerdijk, Zeeland West-Brabant en Chemelot) valt buiten bovengenoemde categorieën en dus buiten de scope van deze studie.

De potentiële CO₂-reductie voor kleine en middelgrote verbruikers op bedrijventerreinen is door TNO in een eerdere studie vastgesteld op 2,3 Mton (Nordkamp et al., 2021). In deze studie wordt deze analyse uitgebreid met de besparingspotentie bij industriële grootverbruikers, en wordt er onderscheid gemaakt tussen de twee categorieën bedrijventerreinen.

In het Nationaal Programma Ruimte voor Economie staat het borgen en creëren van fysieke ruimte voor economische activiteiten centraal, waaronder fysieke ruimte die voor het verduurzamen van bedrijfsactiviteiten nodig is. Denk aan ruimte voor nieuwe installaties en infrastructuur. Daarom wordt in deze studie ook inzicht gegeven in het ruimtebeslag van de bedrijventerreinen in relatie tot de potentiële besparingsopgaven.

Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de gebruikte rekenmethode toegelicht. De resultaten worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3, en de conclusies in Hoofdstuk 4.

2 Methode

De potentie voor energiebesparing en CO₂-reductie op bedrijventerreinen in Nederland is berekend in vijf stappen:

1. Het uitfilteren van bedrijventerreinen binnen industrieclusters 1 t/m 5 (Noord-Nederland, Noorzeekanaalgebied, Rotterdam-Moerdijk, Zeeland West-Brabant en Chemelot);
2. Een berekening van het energieverbruik en het gebouwgebonden besparingspotentieel met de Energiepotentieelscan (EPS) voor alle overige bedrijventerreinen;
3. Een correctie van het door de EPS ingeschatte energieverbruik op basis van CBS gegevens over elektriciteits- en gaslevering aan bedrijventerreinen;
4. Een potentieelberekening voor besparing op het procesgebonden energieverbruik;
5. Een potentieelberekening voor besparing op het gebouwgebonden energieverbruik op basis van de EPS resultaten en aanvullende maatregelen.

In de berekening wordt onderscheid gemaakt tussen de twee categorieën bedrijventerreinen:

1. Bedrijventerreinen die zijn bestemd voor milieucategorieën 4 t/m 6, waaronder watergebonden locaties;
2. Reguliere en gemengde bedrijventerreinen, waar veel MKB bedrijven gevestigd zijn.

Uitgangspunt voor de selectie van besparingsmaatregelen is dat de technieken nu op de markt beschikbaar zijn, en bij individuele bedrijven kunnen worden toegepast. Waterstof, groen gas en restwarmte uitwisseling zijn daarmee geen onderdeel van deze studie, omdat daarvoor externe productie, transport, distributie en/of afzet nodig is. Ook is geen rekening gehouden met beperkingen door netcongestie.

Het referentiejaar voor deze studie is 2020, omdat voor dit jaar de meest recente energieleveringsdata voor bedrijventerreinen van CBS beschikbaar was.

De stappen zullen in dit hoofdstuk verder worden toegelicht, evenals de scope van energieverbruik en -besparing en de aannames voor emissiefactoren binnen deze studie.

2.1 Uitfilteren van Industrieclusters 1 t/m 5

De energie-intensieve industrie binnen de industrieclusters 1 tot en met 5 valt buiten de scope van deze studie. Wel zijn er binnen deze industrieclusters ook reguliere bedrijventerreinen zonder energie-intensieve industrie, zoals de bedrijventerreinen aan de randen van de Amsterdamse haven. Deze bedrijventerreinen zijn vaak buiten het beeld van beleid gebleven, maar nu wel expliciet onderdeel van Ruimte voor Economie, en dus van deze studie.

Bedrijventerreinen waarop een bedrijf uit industriecluster 6 gevestigd is, vallen wel binnen de scope van deze studie. Dit cluster is verspreid over het land en bestaat uit 9 sectoren, zoals

de levensmiddelenindustrie, de papier- en kartonindustrie en de chemische industrie (Klimaatakkoord, 2020).

Als startpunt voor de geografische afbakening van bedrijventerreinen in Nederland is de IBIS definitie voor werklocaties (IBIS, 2020) gekozen, in lijn met de Monitor Verduurzaming Bedrijventerreinen (Kamphuis et al., 2023). De IBIS werklocaties die behoren tot de industrieclusters 1 t/m 5 zijn opgehaald bij de IBIS contactpersonen voor de betreffende provincies.

In samenspraak met het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is gekozen om de werklocaties binnen de industrieclusters 1 t/m 5 die in IBIS aangemerkt worden als “Zeehaventerrein” niet mee te nemen in deze studie. Daarnaast worden de bedrijventerreinen binnen het industriecluster Chemelot niet meegenomen. De overige IBIS werklocaties binnen de industrieclusters gaan wel mee in deze studie. Dit is inclusief zeehavens buiten de industrieclusters 1 t/m 5, zoals Harlingen en Dordrecht.

Een visualisatie (kaartweergave) van de resultaten is terug te vinden in bijlage a.

2.2 EPS-berekening

2.2.1 Introductie EPS

De Energiepotentieelscan voor bedrijventerreinen (EPS) is een door TNO ontwikkelde rekentool, die het energieverbruik en het besparingspotentieel voor gebouwmaatregelen berekend voor elk individueel bedrijf en bedrijfspand op een bedrijventerrein. Het besparingspotentieel wordt uitgedrukt in energiebesparing, duurzame opwek, CO₂-reductie en een eerste orde business case. De resultaten worden vaak door een gemeente of parkmanager gebruikt als gesprekstarter met bedrijven.

De berekening gebruikt data over elk gebouw en elk bedrijf op het bedrijventerrein als uitgangspunt. Met de geometrie van het gebouw uit de 3D BAG en aannames over isolatie aan de hand van de bouwjaarklasse wordt een warmteverlies berekening gedaan en met kengetallen over verlichting, warm tapwater, ruimteteoeling en ventilatie wordt het gebouw gebonden energieverbruik berekend. Met de data over de branche en het aantal werknemers van het bedrijf uit de Kamer van Koophandel wordt een inschatting gemaakt van het finale energieverbruik en het aardgasverbruik voor omzetting, op basis van CBS statistiek over het energieverbruik en het aantal werknemers per (SBI) branche. Het verschil tussen het finale energieverbruik en het gebouwgebonden verbruik wordt toegekend aan het finale procesgebonden verbruik. Op deze manier kan een eerste potentieelberekening gedaan worden op basis van landelijke datasets, die vervolgens verrijkt kan worden op basis van lokaal beschikbare data, zoals het daadwerkelijke energieverbruik of reeds getroffen maatregelen.

Op dit moment bevat de EPS de volgende maatregelen: dakisolatie, gevelisolatie, HR++ glas, warmteterugwinning uit ventilatielucht, volledig elektrische warmtepompen, LED verlichting en zon-PV op dak.

De EPS is als webtool beschikbaar in licentievorm, en is door 15 licentiehouders inmiddels voor meer dan 150 bedrijventerreinen in Nederland toegepast. Voor meer informatie over de

EPS kan contact opgenomen worden met de auteurs van deze studie. Voor licentiehouders is ook een uitgebreid EPS rekenregels document beschikbaar (TNO, Juni 2023).

2.2.2 Berekening voor Nederland

In het kader van dit project is de EPS tool ingezet voor alle IBIS bedrijventerreinen in Nederland die binnen de scope van deze studie vallen. Dus met uitzondering van de in stap 1 uitgefilterde bedrijventerreinen. Resultaat is een dataset met een inschatting van het totale energieverbruik opgesplitst naar gebouwgebonden en procesgebonden energieverbruik en het potentieel voor gebouwgebonden energiebesparing voor elk bedrijf op elk bedrijventerrein in Nederland binnen deze scope. Voor de berekeningen in de volgende stappen is deze data geaggregeerd langs de kenmerken provincie, milieucategorie, SBI code en gebruiksfunctie van het gebouw.

Aanpassing chemische industrie

Uit analyse van de resultaten bleek dat het aardgasverbruik voor de chemische industrie (SBI code 20) te hoog wordt ingeschat door de EPS, omdat de door de EPS gebruikte sectorstatistiek voor chemische bedrijven niet representatief is voor chemische bedrijven buiten industriecusters 1 t/m 5. Daarom is het aardgasverbruik voor deze sector geschaald op basis van directe CO₂-emissies. Voor ETS locaties van de chemische industrie binnen onze studie is geschaald naar de voor 2020 gerapporteerde CO₂-emissies voor deze locaties van de Nederlandse Emissieautoriteit (Nederlandse Emissieautoriteit, 2023). Voor niet-ETS locaties is het totaal geschaald naar het totaal van de niet-ETS CO₂-emissies in 2020 voor de chemische industrie binnen onze studie, afgeleid uit de gemeentelijke Emissieregistratie data (Emissieregistratie.nl, 2022).

2.3 Correctie energieverbruik

Het door de EPS berekende energieverbruik van de bedrijventerreinen die binnen de scope van deze studie vallen is vergeleken met het werkelijk energieverbruik van het CBS. Als uitgangspunt is daarbij de aardgas- en elektriciteitslevering aan bedrijventerreinen in 2020 gehanteerd, welke bekend is per milieucategorie en per provincie (CBS, 2023a).

Om ervoor te zorgen dat het berekend gas en elektriciteitsverbruik gematched wordt aan de daadwerkelijke levering is een correctie toegepast. Er is gecorrigeerd door middel van het toepassen van correctiefactoren (fitfactoren), voor iedere combinatie van milieucategorie en provincie, waarbij de fitfactor de verhouding is tussen de energielevering en het berekende verbruik. De fit zorgt ervoor dat het verbruik overeenkomt met de gas- en elektriciteitslevering in 2020. De fitfactoren worden toegepast op het gebouw- en procesgebonden verbruik. Ook de besparingen van de EPS maatregelen zijn met de fitfactoren vermenigvuldigd.

De fitfactoren voor de meegenomen bedrijventerreinen (als geheel) zijn:

- Aardgas: 94%
- Elektriciteit: 98%

Dit betekent dat de berekende energieverbruiken in de EPS omlaag gecorrigeerd worden. De fitfactoren per combinatie provincie en milieucategorie vertonen grotere afwijkingen. De reden hiervoor is dat landelijke sectorgemiddeldes die worden toegepast in de EPS op basis

van sectorstatistiek van CBS minder representatief zijn voor kleinere groepen bedrijven, met name in industriële sectoren.

De gebruikte aannames voor ontbrekende energieleveringsdata (vanwege geheimhouding ontbreekt er data voor een beperkt aantal provincie-milieucategorie combinaties) en voor directe warmtelevering worden toegelicht in bijlage b.

2.4 Scope energieverbruik en -besparing

De scope van deze studie betreft het besparingspotentieel op het aardgas- en elektriciteitsverbruik. Er is niet gekeken naar de inzet van overige energiedragers, zoals bijvoorbeeld biomassa, afval en olieproducten.

De besparing op aardgas is berekend op het energetisch verbruik voor gebouwen en industriële processen. Voor elektriciteit is de besparing op de netto elektriciteitslevering berekend. Deze scope wordt in dit hoofdstuk verder toegelicht.

2.4.1 Scope aardgas

Het aardgasverbruik kan worden onderverdeeld in vier categorieën:

- Finaal energetisch gebouwgebonden verbruik
- Finaal energetisch procesgebonden verbruik
- Verbruik voor omzettingen
- Niet-energetisch verbruik

Deze categorieën worden hieronder verder beschreven. De CBS aardgaslevering omvat al deze vier categorieën.

Het gebouwgebonden aardgasverbruik wordt gebruikt in installaties voor ruimteverwarming⁷ zoals gasketels en in mindere mate voor installaties voor warm water en koken.

Het finaal energetisch procesgebonden verbruik betreft aardgas dat wordt verbruikt voor het verhitten van industriële processen. Denk bijvoorbeeld aan het gebruik van gasovens of gasboilers voor stoomproductie.

Het verbruik voor omzettingen betreft aardgas dat wordt gebruikt voor elektriciteit- en WKK-omzettingen (CBS, 2023b). Hieronder valt de productie van (1) alleen elektriciteit en (2) elektriciteit en nuttig gebruikte warmte samen, ook bekend als warmtekrachtkoppeling (WKK). Warmte heeft hierbij de vorm van stoom of warm water. Deze installaties zijn ook terug te vinden bij grote industriële bedrijven, en in deze gevallen gekoppeld aan hun energieverbruik. Besparing op energieverbruik gekoppeld aan omzetting installaties en verduurzaming van deze omzetting installaties zelf valt buiten de scope van deze studie.

De CBS aardgaslevering omvat ook het niet-energetisch verbruik. Het gaat hier om aardgas als grondstof in een productieproces, zoals bijvoorbeeld aardgas dat wordt gebruikt voor het

⁷ Het aandeel voor warm water en koken op het totale aardgasverbruik is maar zeer gering bij bedrijven en daarom verwaarloosd in deze studie. Meestal is een elektrisch apparaat aanwezig dat in deze toepassingen voorziet.

maken van ammoniak voor kunstmest of als grondstof in de chemische industrie. Hierop is geen besparing mogelijk in een energetische zin. In plaats van aardgas is dan een alternatieve grondstof nodig voor het productieproces. Ter illustratie: in de gehele nijverheid ging het om 103,9 PJ niet-energetisch aardgasverbruik in 2020 (CBS, 2023b). In deze studie is geconstateerd dat er op dit moment onvoldoende precies bekend is om hoeveel niet-energetisch verbruik het gaat op de bedrijventerreinen binnen de scope van deze studie. Wel is duidelijk dat het niet-energetisch verbruik hoofdzakelijk geconcentreerd zit bij industrieclusters 1 t/m 5. Om deze reden is het niet-energetisch verbruik verwaarloosd voor de bedrijventerreinen binnen deze studie. Dat houdt in dat de CBS levering onderverdeeld is over de drie overige verbruiksdoeleinden.

Concluderend is alleen de besparing op het finaal energetisch procesgebonden en het finaal energetisch gebouwgebonden verbruik meegenomen binnen de scope van deze studie. Er is geen besparing meegenomen op het verbruik voor omzettingen en niet-energetisch verbruik.

2.4.2 Scope elektriciteit

De CBS elektriciteitslevering geeft de levering weer vanuit het openbare net aan bedrijventerreinen. Het betreft hier de levering en dus niet het verbruik. Levering en verbruik kunnen van elkaar verschillen door elektriciteitsproductie met warmtekrachtinstallaties en zonnepanelen. De teruglevering vanuit deze installaties aan het openbare net is afgetrokken (gesaldeerd) met de levering. Als de elektriciteitsproductie met warmtekrachtinstallaties en zonnepanelen wordt opgeteld bij de gesaldeerde CBS levering ontstaat het finale elektriciteitsverbruik. Ter illustratie: Voor de gehele nijverheid gaat het om 27,7 PJ elektriciteitsopwekking uit WKK en om 2,4 PJ verbruik van zonnestroom in 2020 (CBS, 2023b).

De elektriciteitsproductie met onderscheid naar teruglevering en zelfconsumptie is echter niet beschikbaar voor de scope van bedrijventerreinen in deze studie. In deze studie is daarom de elektriciteitsbesparing berekend op de gesaldeerde elektriciteitslevering en dus niet op het finale elektriciteitsverbruik. Dit geeft dus een onderschatting van de mogelijke besparing.

2.5 Potentieelberekening procesgebonden verbruik

Voor industriële bedrijven is berekend hoeveel energiebesparing en CO₂-emissiereductie op zowel procesgas als -electriciteit kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van beschikbare marktrijpe energiebesparings- en elektrificatietechnologieën die eindgebruikers kunnen toepassen binnen hun productieproces.

De volgende maatregelen voor besparing op aardgas (voor warmte) zijn doorgerekend:

- Procesisolatie
- Industriële warmtepomp
- Elektrische boiler
- Elektrische ovens en fornuizen
- Elektrische droger (alleen voor specifieke droogprocessen waar bovenstaande technologieën niet toegepast kunnen worden)

De volgende maatregelen voor besparing op elektriciteit zijn doorgerekend:

- Efficiënte aandrijving processen
- Efficiëntere elektrische proceswarmte
- Efficiëntie verbetering elektrochemie
- Efficiëntie verbetering proceskoeling
- Besparing op proces verlichting
- Efficiëntie verbetering “overige processen”

De gebruikte methode en kentallen voor de doorrekening van de procesgebonden maatregelen wordt toegelicht in bijlage c.

2.6 Potentieelberekening gebouwgebonden verbruik

De EPS tool berekent het besparingspotentieel van de in paragraaf 2.2.1 genoemde gebouw gebonden besparingsmaatregelen. Dit zijn:

- Dakisolatie
- Gevelisolatie
- HR++ glas
- Warmteterugwinning uit ventilatielucht
- Warmtepomp
- LED verlichting
- Zon-PV op dak

Aanvullend zijn nog drie besparingsmaatregelen voor binnenverlichting meegenomen in het potentieel. Het gaat om drie soorten verlichtingsregelingen, namelijk een veeg(puls)schakeling, daglichtafhankelijk regeling en aanwezigheidsdetectie. Daarnaast is een schakelklok voor ventilatie meegenomen. Deze maatregelen zijn meegenomen, omdat het (erkende) maatregelen zijn waarvan we veronderstellen dat ze meestal van toepassing zijn, omdat de panden geventileerd en verlicht worden met kunstlicht. Andere gebouwgebonden maatregelen (bijv. infraroodpanelen) zijn buiten beschouwing gelaten omdat deze niet in het algemeen van toepassing zullen zijn en/of lastig eenduidig te kwantificeren.

De gebruikte methode en kentallen voor de doorrekening van de gebouwgebonden maatregelen wordt toegelicht in bijlage d.

2.7 Aannames emissiefactoren

Om de huidige en de reductie in CO₂-uitstoot te berekenen is gebruikt gemaakt van emissiefactoren. Daarbij wordt voor elektriciteit de indirecte CO₂-uitstoot die plaatsvindt door elektriciteitsopwekking met het nationale elektriciteitsproductiepark berekend.

Aardgas

De standaard emissiefactor van aardgas zoals vastgesteld door RVO bedoeld voor monitoring is hierbij gehanteerd. Deze bedraagt 56,4 kgCO₂/GJ in 2020 (RVO, 2020).

Emissiefactor elektriciteit

De emissiefactor van elektriciteitsopwekking met het integrale elektriciteitspark in Nederland, voor de elektriciteit die wordt geleverd aan eindgebruikers is hierbij gehanteerd. De integrale methode neemt de totale elektriciteitsproductie uit hernieuwbaar, fossiele energie en kernenergie mee in de berekening. Er wordt berekend wat de CO₂-emissies zijn van de brandstoffen, gealloceerd aan de elektriciteitsproductie. Elektriciteit uit afvalverbrandingsinstallaties en restgassen wordt niet meegenomen. De emissiefactor volgens deze methode bedroeg 0,29 kgCO₂/kWh in 2020 (CBS, 2023c).

NB: de emissiefactor van elektriciteitsopwekking wordt over de jaren lager door toenemende productie uit hernieuwbare bronnen. De potentiële emissiereductie door elektriciteitsbesparing zal daardoor steeds verder dalen, en de emissiereductie door elektrificatie zal steeds verder stijgen.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten voor het huidige energieverbruik en de huidige CO₂-emissie (H3.1) en het potentieel voor energiebesparing en CO₂-reductie (H3.2).

3.1 Energieverbruik en CO₂-emissie 2020

De bedrijventerreinen binnen de scope van deze studie verbruiken samen 184 PJ aardgas en 101 PJ elektriciteit. De opbouw van het energieverbruik en de uitsplitsing naar de twee categorieën bedrijventerreinen is weergegeven in tabel 3.1. In deze tabel zijn ook bedrijventerreinen opgenomen waarvoor in IBIS geen milieucategorie bekend is.

Het grootste deel van het energieverbruik (81% van het aardgasverbruik en 75% van het elektriciteitsverbruik) komt van bedrijventerreinen in milieucategorie 4 t/m 6. Van het totale verbruik is het grootste gedeelte finaal verbruik door industriële processen: 61% voor aardgas en 71% voor elektriciteit.

Het relatief hoge verbruik in milieucategorie 4 t/m 6 correspondeert met de verwachte concentratie van (energie-intensieve) industriële activiteiten. Ook hebben deze bedrijventerreinen een relatief groot oppervlakte en aantal bedrijfsadressen, zie tabel 3.2.

Tabel 3.1: Energieverbruik bedrijventerreinen voor aardgas en elektriciteit onderverdeeld naar verbruiksdoeleinden.

Levering in Petajoule [PJ]	Milieucategorie 1 t/m 3	Milieucategorie 4 t/m 6	Milieucategorie onbekend	Totaal
Aardgas finaal gebouw	10,2	30,2	1,3	41,7
Aardgas finaal proces	16,1	91,9	4,1	112,2
Aardgas omzetting	2,3	25,8	1,7	29,8
Aardgas totaal	28,7	147,9	7,1	183,7
Elektriciteit gebouw	8,8	18,9	1,2	28,9
Elektriciteit proces	12,1	57,0	3,2	72,3
Elektriciteit totaal	20,9	75,9	4,4	101,2

Tabel 3.2: Aantal bedrijventerreinen (uit IBIS; 2020), aantal adressen (uit CBS; 2020) en netto oppervlakte bedrijventerreinen (uit IBIS; 2020).

	Milieucategorie 1 t/m 3	Milieucategorie 4 t/m 6	Milieucategorie onbekend	Totaal
Aantal bedrijventerreinen	1959	1454	310	3723
Aantal adressen	63040	90275	6600	159915
Netto oppervlakte (ha)	19894	44872	3716	68482

De totale CO₂-uitstoot voor de bedrijventerreinen binnen de scope van deze studie is 18,5 Mton, waarvan 10,4 Mton gekoppeld aan aardgas en 8,2 Mton aan elektriciteit. Zie tabel 3.3. De CO₂-emissie voor elektriciteit is indirect. Dit betekent dat deze gekoppeld is aan de emissie voor elektriciteitsopwekking met het integrale elektriciteitspark in Nederland. Gekoppeld aan het hoge energieverbruik, is ook de CO₂-uitstoot voor bedrijventerreinen in milieucategorie 4 t/m 6 relatief hoog.

De CO₂-uitstoot van de bedrijventerreinen is vergelijkbaar met die van de gebouwde omgeving (21,1 Mton in 2020, en ongeveer tweederde in verhouding tot de CO₂-uitstoot van de nijverheid (binnen de klimaatsector industrie²) in Nederland: 31,2 Mton in 2020 (PBL, 2023). De uitstoot van bedrijventerreinen vindt plaats op een relatief kleine oppervlakte: 2,0% van het totale landoppervlak van Nederland, tegenover 7,2% voor woonruimte (CBS, 2017).

Tabel 3.3: CO₂-uitstoot van bedrijventerreinen in 2020.

	Milieucategorie 1 t/m 3	Milieucategorie 4 t/m 6	Milieucategorie onbekend	Totaal
CO ₂ -uitstoot aardgas 2020 in Mton	1,6	8,3	0,4	10,4
CO ₂ -uitstoot (indirect) elektriciteit 2020 in Mton	1,7	6,1	0,4	8,2
CO ₂ -uitstoot totaal 2020 in Mton	3,3	14,5	0,8	18,5

De verduurzaming van bedrijventerreinen heeft de laatste jaren steeds meer aandacht gekregen. In dit kader zijn door CE Delft en Royal HaskoningDHV potentiestudies gedaan. Hieronder wordt kort toegelicht hoe de scope van deze studies zich relateert tot de scope van deze studie.

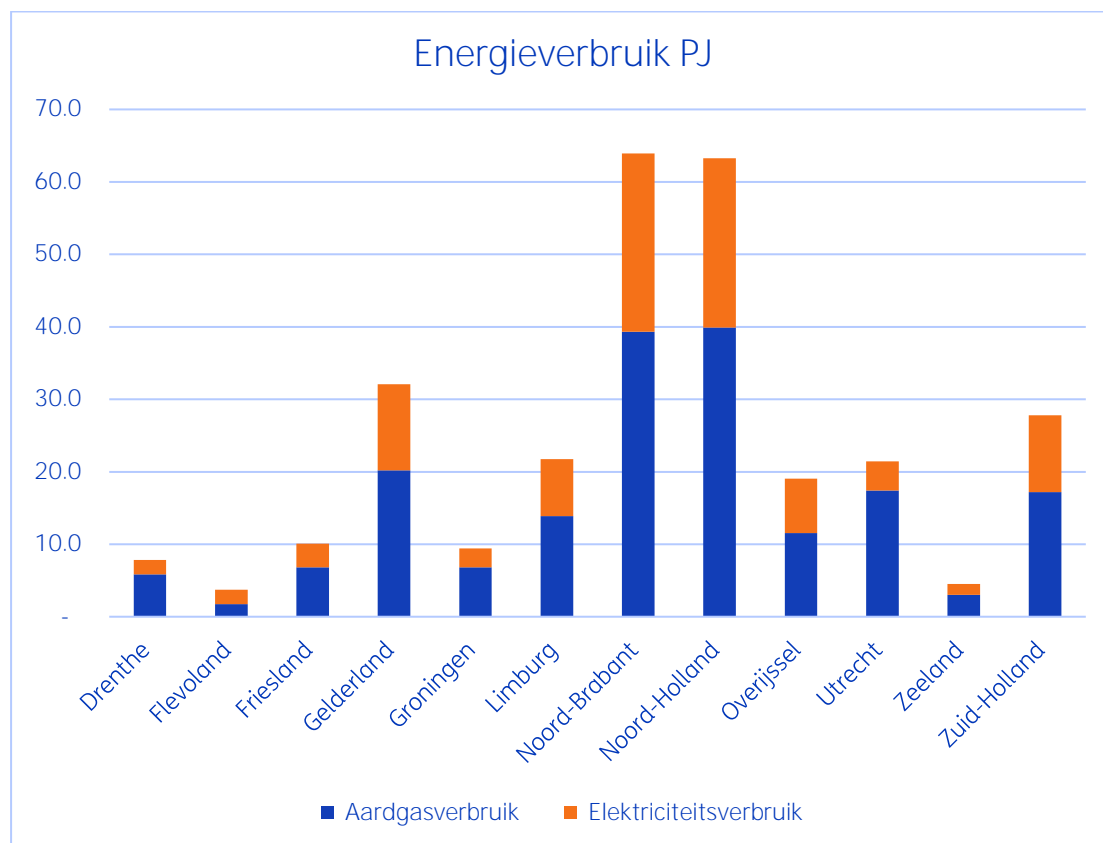
CE Delft heeft de verduurzamingsopgave voor bedrijventerreinen (exclusief zeehavens) berekend op 60 PJ aardgas en 60 PJ elektriciteit in 2019 (Senel et al., 2023). Er zijn echter verschillen met deze studie. Zo neemt CE Delft industriecluster Chemelot wel mee. Ook heeft CE Delft bijstellingen moeten doen voor energielevering aan individuele bedrijventerreinen waarvoor in verband met herleidbaarheid geen CBS data beschikbaar was. In deze studie beschikken we wel over de volledige CBS data van energielevering aan bedrijventerreinen, op provinciaal niveau.

Royal HaskoningDHV heeft de potentie voor energy hubs berekend op 4,1 tot 5,5 Mton CO₂-reductie (De Graaf et al., 2023). Deze potentie bestaat uit de realisatie van duurzame opwek en laadinfrastructuur en het behalen van de Fit for 55 doelstellingen, voor 355 grotere, energie-intensieve bedrijventerreinen. Dit betreft dus een andere scope van bedrijventerreinen en maatregelen dan deze studie.

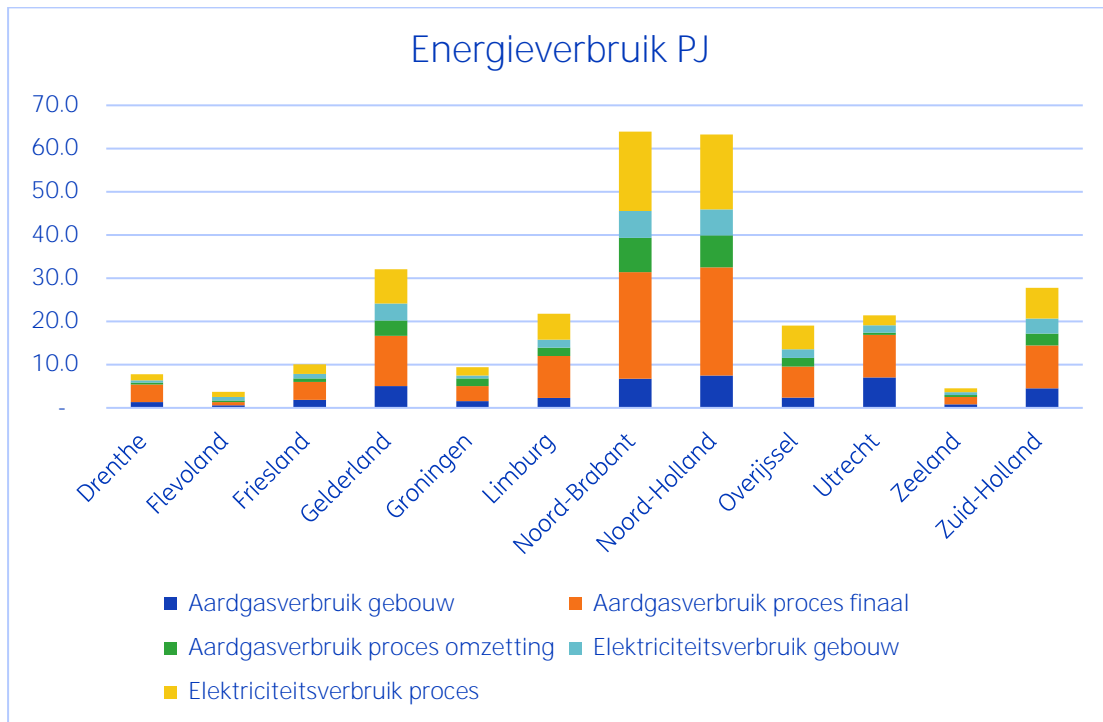
² De klimaatsector industrie bestaat naast de nijverheid (inclusief hoogovens) uit waterbedrijven en afvalbeheer, raffinaderijen, cokesfabrieken en de winning van olie en gas. En is exclusief mobiele werktuigen.

Energieverbruik en CO₂-uitstoot per provincie

In figuur 3.1 en figuur 3.2 is de opbouw van het energieverbruik voor de bedrijventerreinen per provincie weergegeven. De bijbehorende getallen staan in tabel 3.4, inclusief het aantal bedrijventerreinen, hun oppervlakte en het aantal adressen per provincie. Het valt op dat de bedrijventerreinen in de provincies Noord-Brabant en Noord-Holland de grootste energieverbruikers zijn. Naast het aantal bedrijven is ook de energie intensiteit van bedrijven een belangrijke factor voor het verklaren van de verschillen in energieverbruik tussen provincies.



Figuur 3.1: Energieverbruik bedrijventerreinen per provincie, uitgesplitst naar aardgas en elektriciteit.



Figuur 3.2: Energieverbruik bedrijventerreinen per provincie, uitgesplitst naar aardgas en elektriciteit en verbruiksdoeleinden.

Tabel 3.4: Energieverbruik bedrijventerreinen uitgesplitst naar aardgas en elektriciteit en verbruiksdoeleinden. Aantal bedrijventerreinen (uit IBIS; 2020), aantal adressen (uit CBS; 2020) en netto oppervlakte bedrijventerreinen (uit IBIS; 2020). Opmerking: Door afronden op 5-tallen komt het totaal aantal adressen (CBS) niet overeen met het totaal voor de milieucategorieën in tabel 3.2.

	Aardgas- verbruik gebouw [PJ]	Aardgas- verbruik proces finaal [PJ]	Aardgas- verbruik proces omzetting [PJ]	Elektriciteits- verbruik gebouw [PJ]	Elektriciteits- verbruik proces [PJ]	Totaal provincie [PJ]	Aantal IBIS terreinen	Netto oppervlakte [ha]	Aantal adressen (CBS)
Drenthe	1,3	4,1	0,4	0,5	1,5	7,8	121	2751	4270
Flevoland	0,6	0,8	0,4	0,8	1,2	3,7	109	2528	6170
Friesland	1,9	4,2	0,8	1,1	2,2	10,1	274	3911	8400
Gelderland	5,1	11,6	3,5	3,9	7,9	32,1	490	8848	18510
Groningen	1,5	3,5	1,8	0,7	1,9	9,4	198	2856	4175
Limburg	2,3	9,7	1,9	1,9	5,9	21,8	269	6898	8975
Noord- Brabant	6,7	24,7	7,9	6,2	18,4	63,9	620	13639	26615
Noord- Holland	7,5	25,0	7,4	6,0	17,4	63,3	336	7035	25325
Overijssel	2,4	7,2	2,0	2,0	5,5	19,0	342	6424	12370
Utrecht	7,1	9,8	0,5	1,7	2,3	21,4	160	2887	10825
Zeeland	0,8	1,7	0,5	0,6	0,9	4,5	204	1933	4600

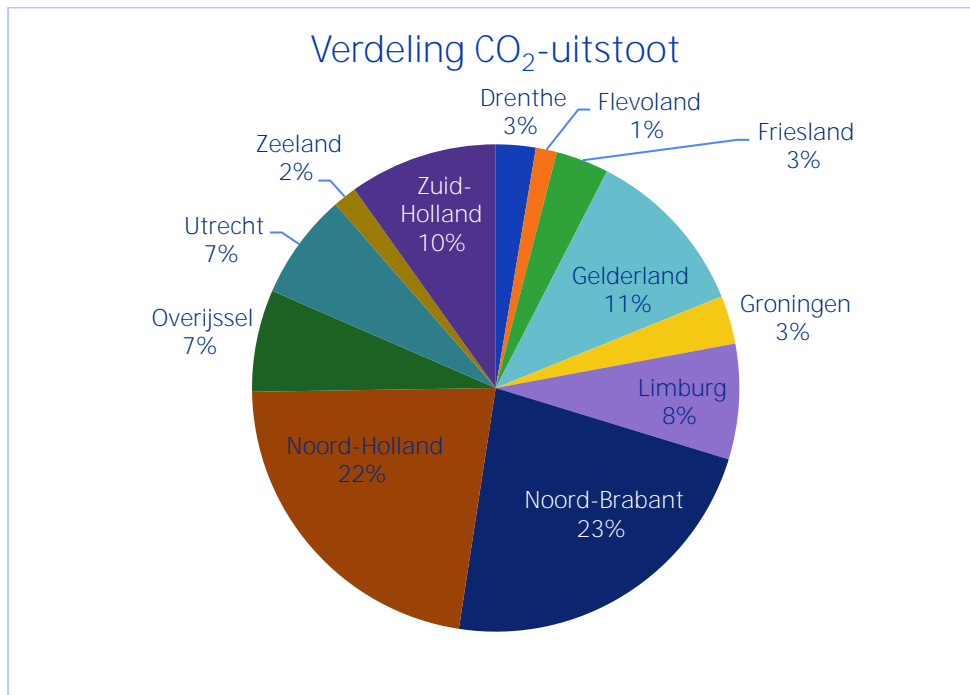
	Aardgas- verbruik gebouw [PJ]	Aardgas- verbruik proces finaal [PJ]	Aardgas- verbruik proces omzetting [PJ]	Elektriciteits- verbruik gebouw [PJ]	Elektriciteits- verbruik proces [PJ]	Totaal provincie [PJ]	Aantal IBIS terreinen	Netto oppervlakte [ha]	Aantal adressen (CBS)
Zuid- Holland	4,5	10,0	2,7	3,5	7,1	27,8	600	8772	29685
Totaal NL	41,7	112,1	29,8	28,9	72,3	284,9	3723	68482	159920

De verdeling van CO₂-uitstoot op de bedrijventerreinen over de provincies is weergegeven in tabel 3.5. Net als voor het energieverbruik, vindt een relatief groot deel van de CO₂-uitstoot plaats in Noord-Holland en Noord-Brabant. De verdeling is weergegeven in een taartdiagram in figuur 3.3.

Een nadere analyse van de CO₂-uitstoot en het besparingspotentieel per provincie valt buiten de scope van deze studie, we bekijken deze potentie op landelijk niveau.

Tabel 3.5: CO₂-uitstoot van bedrijventerreinen in 2020 per provincie.

	CO ₂ -uitstoot aardgas in 2020 Mton	CO ₂ -uitstoot (indirect) elektriciteit in 2020 Mton	CO ₂ -uitstoot totaal in 2020 Mton
Drenthe	0,3	0,2	0,5
Flevoland	0,1	0,2	0,3
Friesland	0,4	0,3	0,6
Gelderland	1,1	1,0	2,1
Groningen	0,4	0,2	0,6
Limburg	0,8	0,6	1,4
Noord-Brabant	2,2	2,0	4,2
Noord-Holland	2,2	1,9	4,1
Overijssel	0,7	0,6	1,3
Utrecht	1,0	0,3	1,3
Zeeland	0,2	0,1	0,3
Zuid-Holland	1,0	0,9	1,8
Totaal NL	10,4	8,2	18,5



Figuur 3.3: Procentuele CO₂-uitstoot van bedrijventerreinen in 2020 naar provincie.

3.2 Potentieel energiebesparing en CO₂-reductie

De besparingsmaatregelen op het finaal gebouwgebonden verbruik en op het finaal verbruik van industriële processen leveren 153,6 PJ besparing op aardgas op, en een netto toename van 47,3 PJ in het elektriciteitsverbruik. Deze netto toename in elektriciteitsverbruik komt voor het grootste deel door het toegenomen elektriciteitsverbruik door elektrificatie van de proceswarmtevraag (64,1 PJ). Zie ook tabel 3.6. Elektrische warmtepompen voor ruimteverwarming in gebouwen zorgen voor een extra elektriciteitsverbruik van 5,2 PJ.

De potentiële CO₂-reductie voor het totaal aan maatregelen is 8,7 Mton voor besparing op aardgas en 1,7 Mton voor besparing op elektriciteit, zie tabel 3.7.

Door elektrificatie van de proceswarmtevraag komt daar 5,2 Mton extra CO₂-uitstoot bij, en 0,4 Mton voor elektrificatie van de warmtevraag in gebouwen, gegeven de huidige elektriciteitsmix. Dit geeft een totale extra indirecte uitstoot van 5,6 Mton. Wanneer de elektriciteitsproductie meer uit zon en winenergie bestaat zal dat minder zijn. Netto betekent dat een reductiepotentieel van 4,9 Mton CO₂-reductie bij de huidige elektriciteitsmix, voor de bedrijventerreinen binnen de scope van deze studie.

Van het besparingspotentieel op bedrijventerreinen is 1,0 Mton te realiseren op reguliere en gemengde bedrijventerreinen en 3,6 Mton op bedrijventerreinen bestemd voor milieucategorie 4 t/m 6. 0,2 Mton is te realiseren op bedrijventerreinen waarvoor de milieucategorie onbekend is.

Een volledig overzicht van de energiebesparing en CO₂-reductie per maatregel is te vinden in tabel 3.8 en tabel 3.9. De Top 5 maatregelen met de meeste netto CO₂-reductie zijn (in volgorde): warmtepomp voor industriële proceswarmte (T<100°C) (25% van de totale potentie), efficiënte aandrijving voor industriële processen (16%), dakisolatie (11%),

warmtepompen voor gebouwverwarming (10%) en proceswarmte isolatie (6%). Bij een duurzame elektriciteitsmix scoren ook directe elektrificatie en elektrische boilers voor hoge temperatuur industriële processen hoog.

Een deel van deze besparingsmaatregelen is al wettelijk verplicht vanuit de Wet Milieubeheer: de erkende maatregelen. Dit deel is (ten hoogste) verantwoordelijk voor een potentie van 3,0 Mton CO₂-reductie, aangenomen dat alle bedrijven onder de energiebesparingsverplichting vallen. Dat is echter niet het geval, omdat daarvoor een grens (RVO, 2023a) voor het energieverbruik geldt, namelijk minimaal 50.000 kWh elektriciteit of 25.000 m³ aardgas. Een toelichting op de meegenomen erkende maatregelen binnen deze studie is terug te vinden in bijlage e.

Tabel 3.6: Besparing gebouw- en procesmaatregelen op bedrijventerreinen uitgesplitst naar aardgas en elektriciteit.

[PJ]	Milieucategorie 1 t/m 3	Milieucategorie 4 t/m 6	Milieucategorie onbekend	Totaal
Besparing aardgas gebouw	10,2	30,2	1,3	41,7
Besparing aardgas proces	16,1	91,8	4,1	111,9
Besparing aardgas totaal	26,3	121,9	5,4	153,6
Besparing elektriciteit gebouw	2,1	4,4	0,3	6,7
Elektrificatie warmte gebouw	-1,3	-3,8	-0,1	-5,2
Besparing elektriciteit proces	2,5	12,1	0,7	15,4
Elektrificatie warmte proces	-9,0	-52,8	-2,3	-64,1
Besparing elektriciteit totaal	-5,7	-40,1	-1,5	-47,3

Tabel 3.7: CO₂-reductie gebouw- en procesmaatregelen op bedrijventerreinen uitgesplitst naar aardgas en elektriciteit.

[Mton]	Milieucategorie 1 t/m 3	Milieucategorie 4 t/m 6	Milieucategorie onbekend	Totaal
CO ₂ -reductie aardgasbesparing gebouw	0,6	1,7	0,07	2,4
CO ₂ -reductie aardgasbesparing proces	0,9	5,2	0,23	6,3
CO₂-reductie aardgasbesparing totaal	1,5	6,9	0,30	8,7
CO ₂ -reductie elektriciteitsbesparing gebouw	0,2	0,4	0,02	0,5
Extra CO ₂ -uitstoot door elektrificatie warmte gebouw	-0,1	-0,3	-0,01	-0,4
CO ₂ -reductie elektriciteitsbesparing proces	0,2	1,0	0,06	1,2
Extra CO ₂ -uitstoot door elektrificatie warmte proces	-0,7	-4,3	-0,19	-5,2
CO₂-reductie elektriciteitsbesparing totaal	-0,5	-3,2	-0,12	-3,8

[Mton]	Milieucategorie 1 t/m 3	Milieucategorie 4 t/m 6	Milieucategorie onbekend	Totaal
CO₂-reductie totaal (netto)	1,0	3,6	0,18	4,9

Tabel 3.8: Energiebesparing gebouw- en procesmaatregelen op bedrijventerreinen uitgesplitst naar aardgas en elektriciteit.

Maatregel	Aardgasbesparing [PJ]	Elektriciteitsbesparing [PJ]	Besparing totaal [PJ]
Gebouwerelateerde maatregelen			
Gebouw dakisolatie	10,8	-	10,8
Gebouw gevelisolatie	4,5	-	4,5
Gebouw HR++ glas	3,1	-	3,1
Gebouw wtw ventilatie	6,0	-	6,0
Gebouw warmtepomp besparing gas	17,3	-	17,3
Gebouw warmtepomp toename elektriciteit	-	-5,2	-5,2
Gebouw warmtepomp besparing koeling	-	0,1	0,1
Gebouw verlichting LED	-	4,0	4,0
Gebouw verlichting veegpuls	-	0,4	0,4
Gebouw verlichting aanwezigheidsdetectie	-	0,7	0,7
Gebouw verlichting daglichtafh. Regeling	-	0,9	0,9
Gebouw ventilatiesysteem schakelklok	-	0,7	0,7
Procesgerelateerde maatregelen			
Proceswarmte isolatie	6,0	-	6,0
Proceswarmte HT Warmtepomp (T<100°C) besparing gas	35,3	-	35,3
Proceswarmte HT Warmtepomp (T<100°C) toename elektriciteit	-	-7,7	-7,7
Proceswarmte elektrische boiler (100°C<T<250°C) besparing gas	26,3	-	26,3
Proceswarmte elektrische boiler (100°C<T<250°C) toename elektriciteit	-	-24,9	-24,9
Proceswarmte directe elektrificatie (250°C<T<500°C) besparing gas	12,6	-	12,6
Proceswarmte directe elektrificatie (250°C<T<500°C) toename elektriciteit	-	-7,8	-7,8

Maatregel	Aardgasbesparing [PJ]	Elektriciteitsbesparing [PJ]	Besparing totaal [PJ]
Proceswarmte directe elektrificatie (T>500°C) besparing gas	22,7	-	22,7
Proceswarmte directe elektrificatie (T>500°C) toename elektriciteit	-	-16,4	-16,4
Proceswarmte E-oven voeding (100°C<T<250°C) besparing gas	8,5	-	8,5
Proceswarmte E-oven voeding (100°C<T<250°C) toename elektriciteit	-	-6,8	-6,8
Proceswarmte E-droger papier (100°C<T<250°C) besparing gas	0,6	-	0,6
Proceswarmte E-droger papier (100°C<T<250°C) toename elektriciteit	-	-0,5	-0,5
Proces elektriciteit efficiënte aandrijving	-	11,2	11,2
Proces elektriciteit proceswarmte	-	1,0	1,0
Proces elektriciteit elektrochemie	-	0,4	0,4
Proces elektriciteit koeling	-	0,9	0,9
Proces elektriciteit verlichting	-	1,7	1,7
Proces elektriciteit overig	-	0,2	0,2
Totaal	153,6	-47,3	106,3

Tabel 3.9: CO₂-reductie gebouw- en procesmaatregelen op bedrijventerreinen uitgesplitst naar CO₂-reductie door aardgas en elektriciteit

Maatregel	CO ₂ -reductie [Megaton]
Gebouwgerelateerde maatregelen	
Gebouw dakisolatie	0,61
Gebouw gevelisolatie	0,26
Gebouw HR++ glas	0,17
Gebouw wtw ventilatie	0,34
Gebouw warmtepomp besparing gas	0,98
Gebouw warmtepomp toename elektriciteit	-0,42
Gebouw warmtepomp besparing koeling	0,01
Gebouw verlichting LED	0,32
Gebouw verlichting veegpuls	0,03

Maatregel	CO ₂ -reductie [Megaton]
Gebouw verlichting aanwezigheidsdetectie	0,05
Gebouw verlichting daglichtafh. Regeling	0,07
Gebouw ventilatiesysteem schakelklok	0,06
Procesgerelateerde maatregelen	
Proceswarmte isolatie	0,34
Proceswarmte HT Warmtepomp (T<100°C) besparing gas	1,99
Proceswarmte HT Warmtepomp (T<100°C) toename elektriciteit	-0,62
Proceswarmte elektrische boiler (100°C<T<250°C) besparing gas	1,48
Proceswarmte elektrische boiler (100°C<T<250°C) toename elektriciteit	-2,01
Proceswarmte directe elektrificatie (250°C<T<500°C) besparing gas	0,71
Proceswarmte directe elektrificatie (250°C<T<500°C) toename elektriciteit	-0,63
Proceswarmte directe elektrificatie (T>500°C) besparing gas	1,28
Proceswarmte directe elektrificatie (T>500°C) toename elektriciteit	-1,32
Proceswarmte E-oven voeding (100°C<T<250°C) besparing gas	0,48
Proceswarmte E-oven voeding (100°C<T<250°C) toename elektriciteit	-0,55
Proceswarmte E-droger papier (100°C<T<250°C) besparing gas	0,03
Proceswarmte E-droger papier (100°C<T<250°C) toename elektriciteit	-0,04
Proces elektriciteit efficiënte aandrijving	0,90
Proces elektriciteit proceswarmte	0,08
Proces elektriciteit elektrochemie	0,03
Proces elektriciteit koeling	0,07
Proces elektriciteit verlichting	0,13
Proces elektriciteit overig	0,02
Totaal	4,86

De EPS berekent ook de potentie voor zon-PV op bedrijfsdaken. Dit is de theoretische potentie die uitgaat van het totale dakoppervlak, maar waarbij geen rekening gehouden is met geschiktheid van de dakconstructie en met al reeds geplaatste zon-PV. De werkelijke potentie zal daarom lager uitvallen. Voor de bedrijventerreinen binnen deze studie is de totale potentie 71,5 PJ elektriciteitsopwekking, corresponderend met 5,8 Mton CO₂-reductie bij de huidige elektriciteitsmix (wanneer deze hernieuwbare energie volledig wordt gebruikt ter vervanging van de huidige elektriciteitsmix). Deze potentie voor duurzame opwek is niet meegenomen in de besparingspotentie in dit hoofdstuk.

Benutting van deze potentie kan bijdragen aan het lokaal opwekken van de extra elektriciteitsvraag door elektrificatie van de warmtevraag. Wel is er op dit moment voor een groot deel van de bedrijventerreinen in Nederland een beperking op het installeren van zon-PV door netcongestie. Het afstemmen van lokale opwekking van elektriciteit en lokale elektriciteitsvraag (zowel achter de meter als collectief binnen een energy hub) kan een oplossing bieden om toch extra ruimte voor nieuw aansluitvermogen te creëren.

4 Conclusie

18,5 Mton CO₂-emissie door bedrijventerreinen

De bedrijventerreinen binnen de scope van deze studie, zijn samen goed voor 10,4 Mton aan directe CO₂-emissies door aardgasverbruik en 8,2 Mton indirecte CO₂-emissies door elektriciteitsverbruik. Van het totaal zijn 14,5 Mton CO₂-emissies gekoppeld aan bedrijventerreinen bestemd voor milieucategorie 4 t/m 6, en 4,1 Mton aan reguliere en gemengde bedrijventerreinen.

8,7 Mton CO₂-reductie haalbaar door aardgasbesparing met huidige technologie

Met de huidige, op de markt beschikbare technologie, is voor deze bedrijventerreinen 8,7 Mton CO₂-reductie mogelijk door besparing op het finaal aardgasverbruik. Wel zorgt de extra elektriciteitsvraag door elektrificatie van de gebouwgebonden én de industriële warmtevraag voor een extra CO₂-emissie van 5,6 Mton, gegeven de huidige elektriciteitsmix. Door besparing op het finaal elektriciteitsverbruik is een additionele CO₂-reductie van 1,8 Mton mogelijk. Netto resulteert dit in een reductiepotentieel van 4,9 Mton CO₂-emissie voor de maatregelen binnen scope van deze studie. Deze potentie zal toegroeien naar 8,7 Mton naarmate de elektriciteitsmix verder verduurzaamt.

De maatregelen met het grootste CO₂-besparingspotentieel zijn (in volgorde) 1. warmtepompen voor industriële proceswarmte tot 100 °C (25% van de totale potentie), 2. efficiënte aandrijving voor industriële processen (16%), 3. dakisolatie (11%), 4. warmtepompen voor gebouwverwarming (10%) en 5. proceswarmte isolatie (6%). Bij een duurzame elektriciteitsmix scoren ook directe elektrificatie en elektrische boilers voor hoge temperatuur industriële processen hoog.

47% toename elektriciteitsverbruik door elektrificatie warmtevraag

Omdat de extra elektriciteitsvraag door elektrificatie groter is dan de potentiële besparing op de elektriciteitsvraag, vergroot dit de vraag naar duurzame elektriciteitsopwekking netto met 47 PJ. Dit is bijna vijftig procent van het huidige elektriciteitsverbruik op de bedrijventerreinen.

De extra elektriciteitsvraag heeft ook nieuw aansluitvermogen nodig op het elektriciteitsnet. Gegeven de huidige netcongestie problematiek vraagt dit om netuitbreidingen en optimale benutting van de beschikbare netcapaciteit, door betere afstemming van lokale productie en verbruik van elektriciteit.

Grote bijdrage aan klimaatdoelen op 2,0% van het landoppervlak van Nederland

De broeikasgasemissie van de klimaatsectoren industrie en gebouwde omgeving waren 49,8 en 19,6 Mton in 2022 (PBL, 2023). In de plannen van het kabinet Rutte IV werd beoogd deze emissie te verlagen naar respectievelijk 29,1 en 13,2 megaton in 2030 (EZK, 2023b) (EZK, 2023c). Dat is een beoogde emissiereductie van 20,7 Mton in de industrie (inclusief de

industriecusters 1 t/m 5) en 6,4 Mton in de gebouwde omgeving. Het besparingspotentieel op bedrijventerreinen kan een belangrijke bijdrage leveren aan die beoogde emissiereductie.

Het besparingspotentieel op (de in scope zijnde) bedrijventerreinen vindt plaats op een relatief kleine oppervlakte: 2,0% van het totale landoppervlak van Nederland, tegenover bijvoorbeeld 7,2% voor woonruimte.

Op weg naar een landelijk perspectief voor de verduurzaming van bedrijventerreinen

Deze studie geeft een landelijk beeld van het energieverbruik en het energiebesparingspotentieel voor bedrijventerreinen. Volgende stappen om dit beeld te verrijken en te verdiepen zijn:

- Uitsplitsing van het besparingspotentieel naar provincies, regio's en lagere ruimtelijke schaalniveaus;
- Inzicht in de kosten en baten van energiebesparende maatregelen;
- Inzicht in huidige beperkingen door netcongestie, en oplossingen door het vergroten van de flexibele capaciteit;
- Inzicht in het potentieel van collectieve maatregelen zoals warmte uitwisseling;
- Inzicht in de verduurzaming van het energieverbruik gekoppeld aan omzettingen;
- Een koppeling met de verduurzaming van elektrisch vervoer.

Voor validatie en verbetering van het beeld op lagere ruimtelijke schaalniveaus is ook gedetailleerdere verbruiksdata nodig, bijvoorbeeld het verbruik op bedrijventerreinen per industriesector op provinciaal niveau, inclusief omzettingen en teruglevering.

Referenties

- Berenschot. (2022). *Energiebesparing in de industrie: de mogelijkheden voor gasbesparing in beeld*. Kenmerk: 67984.
- BlueTerra. (2019). Verduurzaming Brabantse industrie. Een verkennend onderzoek naar energieverbruik en besparingspotentieel van de middelgrote en grote industrie in Noord-Brabant.
- Bourtsalas et al. (2023). Ecodesign for Industrial Furnaces and Ovens: A Review of the Current Environmental Legislation. *Sustainability*, p. 9436. Opgehaald van <https://doi.org/10.3390/su15129436>
- CBS. (2017). *Bestand Bodemgebruik 2017*.
- CBS. (2023a). *Energielevering bedrijventerreinen naar milieucategorie*. Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2023/49/energielevering-bedrijventerreinen-naar-milieucategorie-2020>
- CBS. (2023b). *StatLine - Energiebalans: aanbod en verbruik, sector*. Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83989NED/table>
- CBS. (2023c). *Rendementen, CO2-emissie elektriciteitsproductie, 2021*. Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2023/06/rendementen-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2021>
- De Graaf et al. (2023). *Verduurzaming bedrijventerreinen met energiehub*s.
- Emissieregistratie.nl. (2022). Emissieregistratie, datareeks 1990-2021 Definitief. Opgehaald van <https://www.emissieregistratie.nl/data/grafieken-en-kaarten/definitieve-dataset-1990-2021-en-voorlopige-nationale-totalen-2022>
- European Industrial Insulation Foundation (Eiif). (2021). *Decarbonising industry with Rapid Payback*. White paper.
- EZK. (2023a). *Programma Ruimte voor Economie*.
- EZK. (2023b). *Brief voorjaarsbesluitvorming Klimaat*. Opgehaald van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-77b639d132c52e5e1d75a36381fb6e60748ed8bb/pdf>
- EZK. (2023c). *Kabinetsreactie kerncijfers KEV en augustusbesluitvorming klimaatmaatregelen*. (Rijksoverheid) Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/09/19/kabinetsreactie-kerncijfers-kev-2023-en-augustusbesluitvorming-klimaatmaatregelen>
- Goodman et al. (2012). *Sustainable Industrial Policy – Building on the Eco-design Directive – Energy-Using Products Group Analysis / 2, Lot 4: Industrial and Laboratory Furnaces and Ovens – Tasks 1 – 7 Final report, 043122753 ENTR Lot 4 Final Report v6*. ERA Technology Ltd.
- Grundfos. (2019). *Krijg de controle over industriële koeling met intelligentie*. White paper Industriële Koeling.
- IBIS. (2020). Opgehaald van Integraal Bedrijventerreinen Informatie Systeem, versie 2020: <http://www.ibis-bedrijventerreinen.nl>
- Ikink, H. (2016). VoltaChem: Chemie met een stekker. *Chemie Magazine*.
- Kamphuis et al., V. (2023). *Monitor Verduurzaming Bedrijventerreinen: Eindnotitie Monitor Versie 1.0*. Opgehaald van <https://klimaatmonitor.databank.nl/dashboard/bedrijventerreinen/>
- Klimaatakkoord. (2020). *Klimaattransitie door de Nederlandse industrie: Het zesde cluster*. Opgehaald van

- <https://www.klimaataakkoord.nl/documenten/publicaties/2020/10/22/koploppersprogramma-het-zesde-cluster>
- KWA Bedrijfsadviseurs. (2021). *Procesgebonden aardgasverbruik binnen de wijkgerichte aanpak*, Kenmerk: 4107360DR01.
- Lintmeijer et al. (2019). *De technologische industrie: aanjager van de energietransitie, Routekaart voor CO₂-reductie in de technologische industrie*. Berenschot.
- Marina et al. (2021). An estimation of the European industrial heat pump market potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(110545).
- Nederlandse Emissieautoriteit. (2023). Emissiecijfers 2013-2020. Opgehaald van <https://www.emissieautoriteit.nl/binaries/nederlandse-emissieautoriteit/documenten/publicatie/2021/05/05/ets-uitstoot-2020/Emissiecijfers+2013-2020.zip>
- Nelissen, W. (2015). Heat pumps in non-domestic applications in Europe: Potential for an energy revolution. *Emerson Climate Technologies*. Detla-ee 3rd Annual Heat Pumps & Utilities Roundtable.
- Nordkamp et al. (2021). *Versnellingsprogramma Verduurzaming Bedrijventerreinen Fase I en II*.
- PBL. (2023). *Klimaat- en Energieverkenning 2023 tabellenbijlage*. Opgehaald van <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2023>
- RVO. (2017). *Koeling in de industrie*. Opgehaald van <http://www.rvo.nl/onderwerpen/energiebesparen-de-industrie/koeling>
- RVO. (2020). *Berekening van de standaard CO₂-emissiefactor aardgas t.b.v. nationale monitoring 2020 en emissiehandel 2020*. Opgehaald van https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/05/vaststelling-standaard-co2-ef-aardgas-jaar-nationale-monitoring-2020-en-ets-2020-def_0.pdf
- RVO. (2022). *Het besparingspotentieel bij bedrijfshallen in de dienstensector*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-07/rapport-het-besparingspotentieel-bij-bedrijfshallen-in-de-dienstensector.pdf>
- RVO. (2023a). *Informatieplicht energiebesparing*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/energiebesparingsplicht/informatieplicht-energiebesparing>
- RVO. (2023b). *Erkende maatregelenlijsten (EML) vanaf 2023*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/energiebesparingsplicht-2023/eml>
- RVO. (Juli 2015). *Best Practice Koudetechniek*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Senel et al. (2023). *Verduurzaming van bedrijventerreinen*.
- Siemons et al. (2020). Project 6-25 Technology Validation, BH1304-RHD-ZZ-XX-RP-Z-00001. Royal HaskoningDHV.
- Sipma, J. M. (2017). *Het besparingspotentieel van Elektrische Aandrijfsystemen in de Nederlandse industrie en dienstensector... ..en het deel hiervan dat gedekt wordt met Green Deal B-133*.
- Stimular. (2023). *Daglichtafhankelijke regeling van verlichting*.
- Stimular. (2023). *Ruimteleeg: licht uit door sensor*.
- Stimular. (2023). *Veegschakeling op verlichting*.
- Stimular. (2023). *Ventilatie uit (of minder) buiten gebruikstijden*.
- TNO. (Juni 2023). *Overzicht rekenregels Energiepotentieelscan (EPS) - EPS webtool v.2023.0 (beschikbaar voor licentiehouders)*.
- Van Engelen, E. W. (1992). Elektriciteit in perspectief 'energie en milieu' in de industrie. *Stichting Toekomstbeeld der Techniek*.
- Werkhoven et al. (2018). *GREEN DEAL Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen maakt bedrijven rendabeler!*

Bijlage A

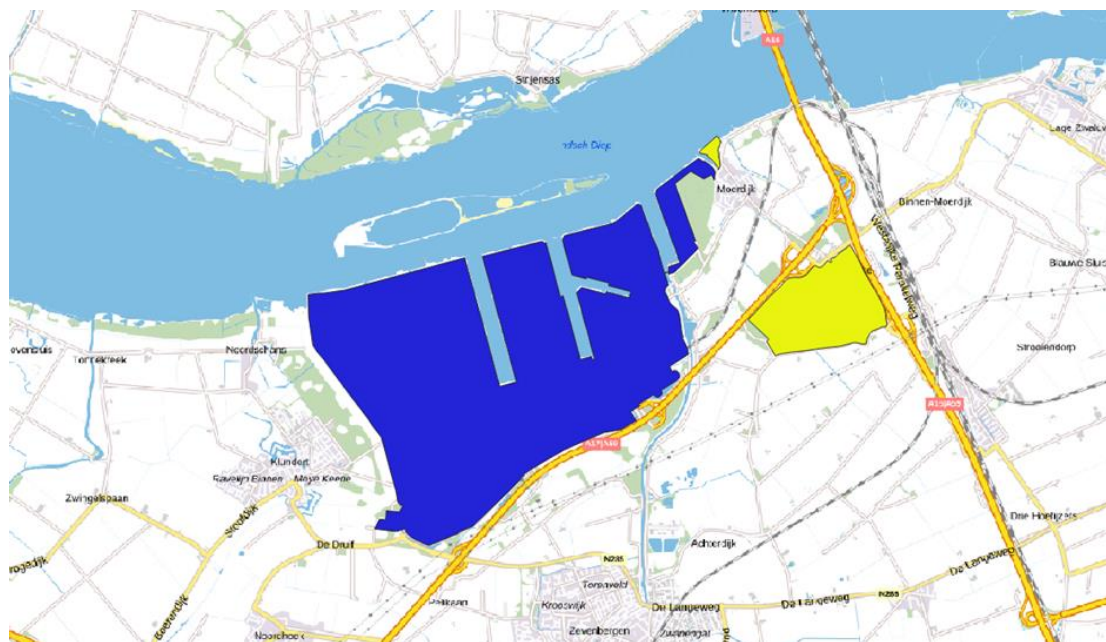
Contouren

Industrieclusters 1 t/m 5

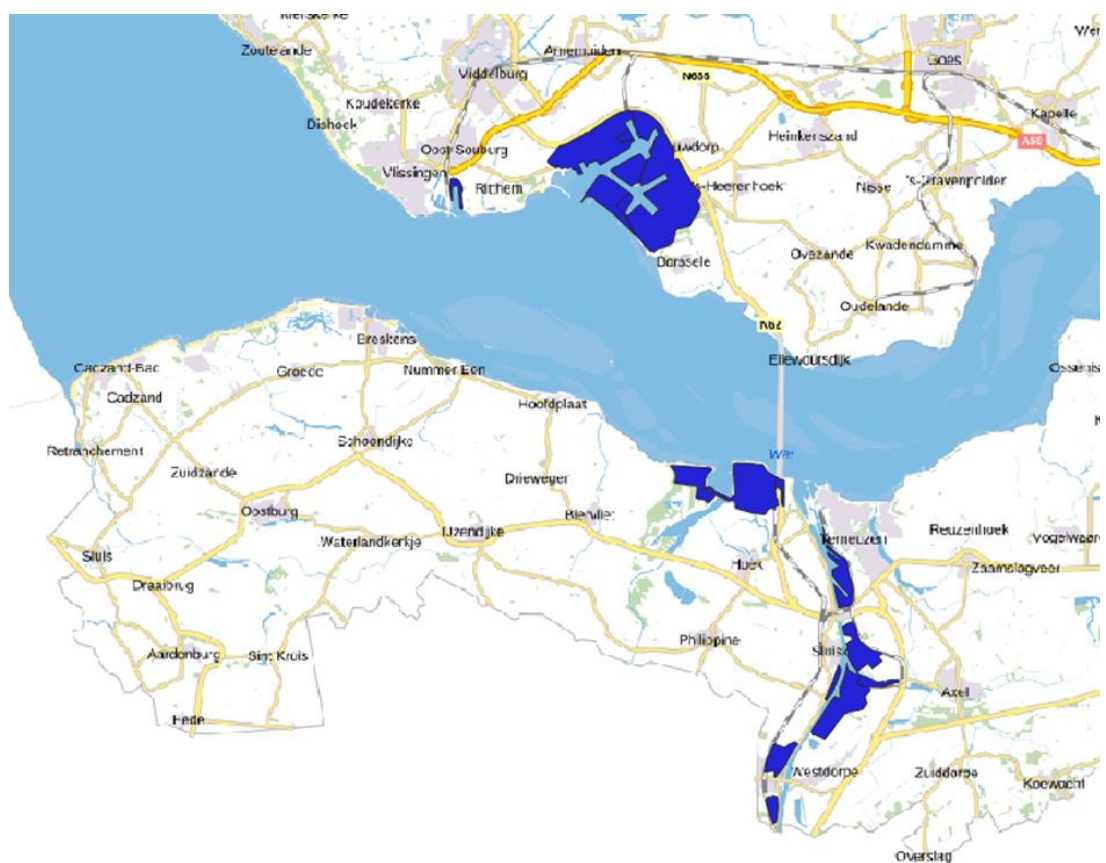
In deze bijlage zijn alle IBIS bedrijventerreinen contouren van Industrieclusters 1 t/m 5 gevisualiseerd. De selectie van contouren is vastgesteld in samenspraak met de betreffende provincies. Blauwe contouren vallen buiten de scope van deze studie (zeehaventerreinen en Chemelot), gele contouren vallen binnen de scope van deze studie.



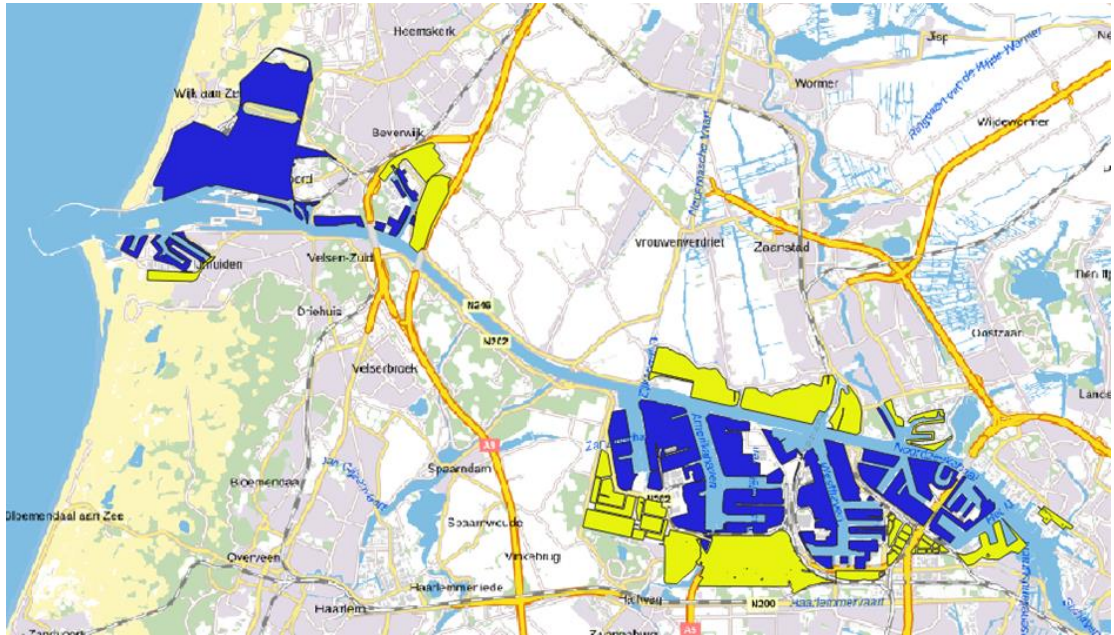
Figuur A.1: Cluster Rotterdam-Moerdijk (1/2).



Figuur A.2: Cluster Rotterdam-Moerdijk (2/2).



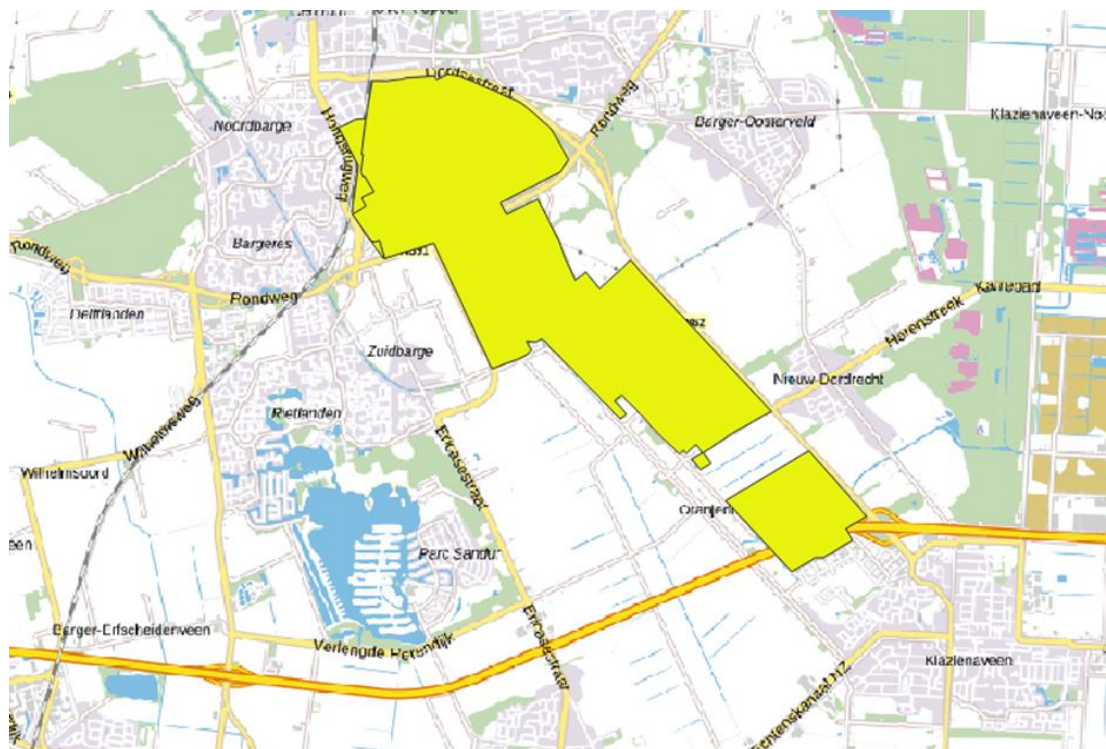
Figuur A.3: Cluster Zeeland (West-Brabant is wel onderdeel van deze studie).



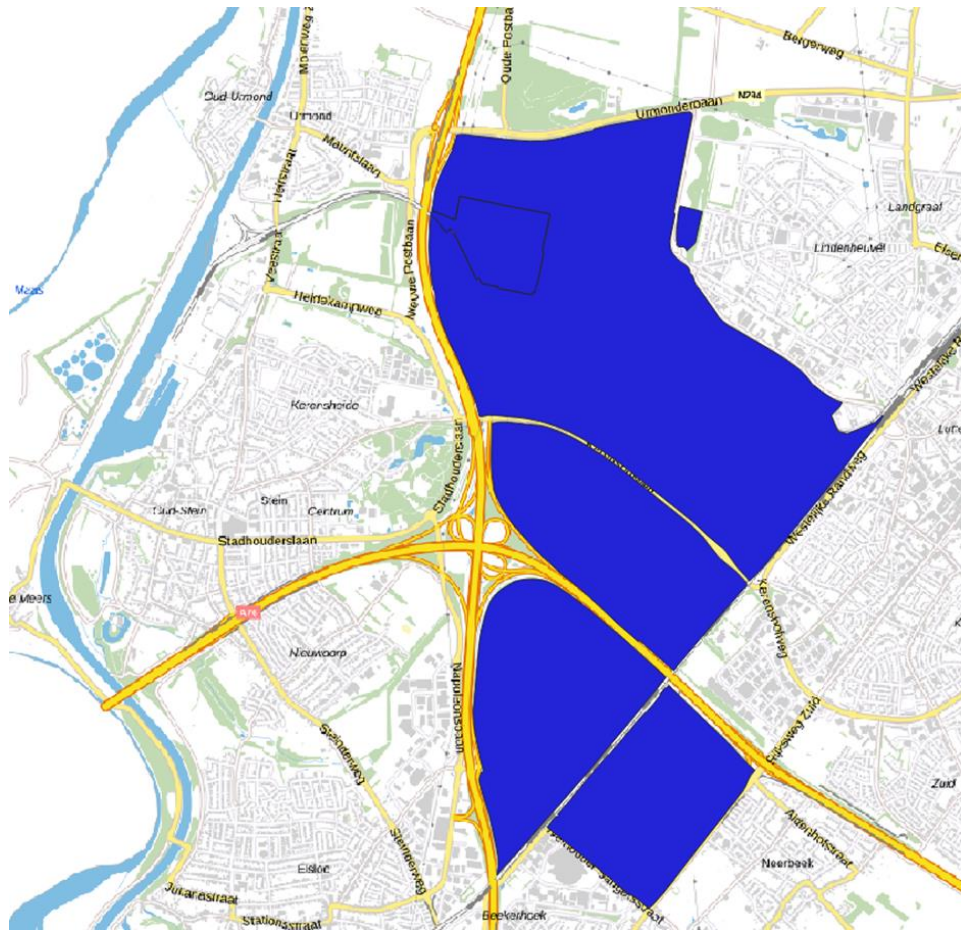
Figuur A.4: Cluster Noordzeekanaalgebied.



Figuur A.5: Cluster Noord-Nederland (1/2).



Figuur A.6: Cluster Noord-Nederland (2/2).



Figuur A.7: Cluster Chemelot.

Bijlage B

Correctie energieverbruik

De correctie op het berekende energieverbruik is aan bod gekomen in hoofdstuk 2.3. Om ervoor te zorgen dat het berekende gas en elektriciteitsverbruik gematched wordt aan de daadwerkelijke levering in 2020, zoals bekend bij het CBS, is een correctie toegepast op het energieverbruik (en de besparing). De gebruikte correctiefactoren (fitfactoren) zorgen ervoor dat het berekende verbruik overeenkomt met de gas- en elektriciteitsleveringen in 2020, per combinatie van milieucategorie en provincie.

Bij deze methode zijn nog enkele opmerkingen te maken. Namelijk, 1) wat er gebeurt met ontbrekende data voor de werkelijke energieleveringen en 2) wat het effect is van bedrijven met warmtelevering op de fitfactor voor aardgaslevering. De twee punten worden hieronder nader toegelicht.

Bijschatting missende energieleveringsdata provincie en milieucategorieën

In de CBS tabel zijn enkele data voor de gas- en elektriciteitslevering op provinciaal niveau binnen een bepaalde milieucategorie wegens geheimhoudingsregels verwijderd (deze zijn vervangen door een "."). Hier is echter wel sprake van levering (anders zou de betreffende cel door CBS leeg zijn gelaten in plaats van vervangen door een "."). Voor Nederland als geheel is per milieucategorie wel bekend om hoeveel gas- en elektriciteitslevering het gaat. De optelling van de ingevulde leveringen per provincie komt uit op 97% van de totale aardgaslevering en 99% van de totale elektriciteitslevering. Voor de provincie-milieucategorie combinaties waar een "." stond is de fitfactor per provincie-milieucategorie berekend op basis van de verhouding tussen de ontbrekende levering en het berekende verbruik voor de ontbrekende provincies in de betreffende milieucategorie.

Effect van bedrijven met warmtelevering op fitfactor aardgaslevering

Warmteleveringen aan bedrijven middels warmtenetten zitten niet in de CBS data over de aardgaslevering, maar zitten wel in de doorrekening van de EPS, net alsof deze bedrijven gebruik maken van aardgas voor invulling van hun warmtebehoefte. Het berekende aardgasverbruik wordt door het meenemen van deze bedrijven hoger, en de fitfactor op de aardgaslevering wordt daardoor lager voor de provincie-milieucategorie combinaties waar warmtelevering een rol speelt. De besparing die gerealiseerd zou kunnen worden op warmtelevering aan bedrijven maakt geen onderdeel uit van deze studie. De aardgasbesparing vindt in werkelijkheid plaats bij minder bedrijfspanden dan verondersteld in de EPS, omdat een deel warmtelevering heeft. Het effect hiervan op de resultaten voor de aardgasbesparing is echter klein, omdat er op dit moment nog beperkt warmtelevering op bedrijventerreinen plaatsvindt.

Bijlage C

Overzicht

procesmaatregelen

Proceswarmte

Voor de sector Industrie is op basis van Eurostat data (Nelissen, 2015) en kentallen specifiek voor de Nederlandse industrie (BlueTerra, 2019), (Siemons et al., 2020) per bedrijfsactiviteit (SBI-code) het procesgebonden energiegebruik geïnventariseerd voor proceswarmte onderverdeeld naar temperatuurniveau (zie figuur c.1). Deze onderverdeling is nodig om te identificeren in welke mate energiebesparingsmaatregelen kunnen worden toegepast voor een gegeven procestemperatuurniveau. Op basis van verzamelde data is voor deze studie een onderverdeling gemaakt naar 4 relevante temperatuurniveaus waarbinnen 5 gekozen energiebesparingsmaatregelen zijn toegepast (zie tabel c.1). Omdat binnen deze studie niet wordt gekeken naar industrieclusters 1 t/m 5 is voor SBI-code 20 (Chemische producten) aangenomen dat binnen de scope van deze studie geen proceswarmte boven de 500°C wordt gebruikt, omdat daaraan gekoppelde activiteiten voor deze sector alleen plaatsvinden binnen de industrieclusters 1 t/m 5. Voor deze SBI-code is het geïnventariseerde proceswarmtegebruik boven de 500°C naar rato verdeeld over de lagere procestemperatuurniveaus. Voor SBI-code 19 (Cokesovenproducten en aardolieverwerking) is aangenomen dat deze activiteiten niet binnen de scope van deze studie plaatsvinden. Voor SBI-code 33 (Reparatie en installatie van machines en apparaten) is aangenomen dat hier geen proceswarmte voor nodig is.

SBI-code	Warmtevraag voor industrie binnen studie			
	Lage temperatuur <100°C	Laagmidden temperatuur 100-250°C	Hoogmidden temperatuur 250-500°C	Hoge temperatuur >500°C
C Industrie				
10 Voedingsmiddelen	43%	52%	2%	3%
11 Dranken	43%	52%	2%	3%
12 Tabaksproducten	43%	52%	2%	3%
13 Textiel	67%	33%	0%	0%
14 Kleding	67%	33%	0%	0%
15 Leer, lederwaren en schoenen	67%	33%	0%	0%
16 Primaire houtbewerking (geen meubels)	83%	4%	13%	0%
17 Papier, karton - en kartonwaren	27%	61%	11%	1%
18 Drukkerijen, reproductie van opgenomen media	100%	0%	0%	0%
19 Cokesovenproducten en aardolieverwerking	0%	0%	0%	0%
20 Chemische producten	20%	25%	55%	0%
21 Farmaceutische grondstoffen en producten	57%	43%	0%	0%
22 Rubber en kunststof	50%	28%	22%	0%
23 Overige niet-metaalhoudende minerale producten	3%	13%	5%	79%
24 Metalen in primaire vorm	2%	7%	4%	87%
25 Producten van metaal (geen machines en apparaten)	70%	10%	0%	20%
26 Computers en van elektronische en optische apparatuur	100%	0%	0%	0%
27 Elektrische apparatuur	100%	0%	0%	0%
28 Overige machines en apparaten	49%	15%	5%	31%
29 Auto's, aanhangwagens en opleggers	40%	10%	20%	30%
30 Overige transportmiddelen	40%	10%	20%	30%
31 Meubels	70%	30%	0%	0%
32 Overige goederen	100%	0%	0%	0%
33 Reparatie en installatie van machines en apparaten	0%	0%	0%	0%

Figuur C.1: Onderverdeling proceswarmte naar temperatuurniveau voor de industrie binnen de scope van deze studie, per SBI-02 code.

Uitgangspunt voor de selectie van besparingsmaatregelen is dat de technieken nu op de markt beschikbaar zijn, besparen op de procesgasvraag en bij individuele bedrijven kunnen worden toegepast (KWA Bedrijfsadviseurs, 2021). Waterstof, groen gas en restwarmte uitwisseling zijn daarmee geen onderdeel van deze studie, omdat daarvoor externe productie, transport, distributie en/of afzet nodig is. Gekozen procesgasbesparingsmaatregelen zijn: isolatie, industriële warmtepomp, elektrische boiler, elektrische oven en elektrisch fornuis waarbij, naast procesisolatie, de technologie met het hoogste energetisch rendement voor het genoemde temperatuurbereik wordt toegepast.

Tabel C.1: Proceswarmtetemperatuur waarbinnen gekozen besparingsmaatregelen zijn ingezet.

	Lage temperatuur <100°C	Laagmidden temperatuur 100°C – 250°C	Hoogmidden temperatuur 250°C – 500°C	Hoge temperatuur >500°C
Procesisolatie	X	X	X	X
Industriële warmtepomp	X	-	-	-
Elektrische boiler	-	X	-	-
Elektrische oven	-	-	X	X
Elektrisch fornuis	-	-	X	X

De besparing op de procesgasvraag wordt berekend door het huidige procesgasgebruik te vermenigvuldigen met de procentuele besparing die gerealiseerd kan worden door de geselecteerde besparingsmaatregelen. Hierbij wordt allereerst de procesgasbesparing door isolatie berekend waarna het resterende procesgasgebruik wordt gebruikt als uitgangspunt voor de berekende procesgasbesparing door de overige besparingstechnologieën. Aangezien het elektrificatietechnologieën betreft wordt hiermee het gasgebruik voor proceswarmte gedeeltelijk of geheel vervangen door elektriciteit. Het berekende besparingspotentieel op procesgasgebruik door geselecteerde energiebesparingsmaatregelen per bedrijfsactiviteit staat weergegeven in figuur c.2.

SBI-code	Besparing op procesgasvraag voor industrie binnen studie				
	Isolatie -	Lage temperatuur <100°C	Laagmidden temperatuur 100-250°C	Hoogmidden temperatuur	Hoge temperatuur >500°C
C Industrie					
10 Voedingsmiddelen	8%	43%	31%	2%	3%
11 Dranken	3%	43%	52%	2%	3%
12 Tabaksproducten	8%	43%	52%	2%	3%
13 Textiel	5%	67%	33%	0%	0%
14 Kleding	5%	67%	33%	0%	0%
15 Leer, lederwaren en schoenen	5%	67%	33%	0%	0%
16 Primaire houtbewerking (geen meubels)	8%	83%	4%	13%	0%
17 Papier, karton - en kartonwaren	8%	27%	49%	11%	1%
18 Drukkerijen, reproductie van opgenomen media	0%	100%	0%	0%	0%
19 Cokesovenproducten en aardolieverwerking	2%	0%	0%	0%	0%
20 Chemische producten	4%	20%	25%	55%	0%
21 Farmaceutische grondstoffen en producten	2%	57%	43%	0%	0%
22 Rubber en kunststof	8%	50%	28%	22%	0%
23 Overige niet-metaalhoudende minerale producten	2%	3%	13%	5%	79%
24 Metalen in primaire vorm	2%	2%	7%	4%	87%
25 Producten van metaal (geen machines en apparaten)	6%	70%	10%	0%	20%
26 Computers en van elektronische en optische apparatuur	1%	100%	0%	0%	0%
27 Elektrische apparatuur	3%	100%	0%	0%	0%
28 Overige machines en apparaten	4%	49%	15%	5%	31%
29 Auto's, aanhangwagens en opleggers	3%	40%	10%	20%	30%
30 Overige transportmiddelen	3%	40%	10%	20%	30%
31 Meubels	4%	70%	30%	0%	0%
32 Overige goederen	0%	100%	0%	0%	0%
33 Reparatie en installatie van machines en apparaten	0%	0%	0%	0%	0%

Figuur C.2: Berekende besparing op procesgasgebruik voor de industrie binnen scope van deze studie, per SBI-02 code. Percentages voor elektrificatietechnologieën zijn t.o.v. de procesgasvraag na isolatie.

Het kleine deel van de finale gasvraag voor proceswarmte dat resteert na toepassing van de geselecteerde energiebesparingsmaatregelen is tussen de 100 en 250°C, en bestaat uit gasovens voor de sector voedingsmiddelen en specifieke gasgestookte drogers voor de sector papier, karton en kartonwaren. Hiervoor wordt aangenomen dat deze vervangen kunnen worden door elektrische ovens en elektrische drogers respectievelijk, die beiden 20% energiezuiniger zijn dan de gasgestookte referentietechnologieën.

1. Procesisolatie

Procesisolatie is een relatief eenvoudige en kosteneffectieve energiebesparingsmaatregel. Voor de sector Industrie is per SBI code de procesgasbesparing berekend waarbij is uitgegaan van kentallen voor Nederland voor niet geïsoleerde procesapparatuur en/of reparatie van beschadigde procesisolatie (European Industrial Insulation Foundation (EiIF), 2021). Het gaat in dit onderzoek om bewezen isolatietechnologieën van procesapparatuur die kosteneffectief zijn (Berenschot, 2022). De mate van procesgasbesparing door isolatie is afhankelijk van het procestemperatuurniveau. Bij lagere procestemperaturen is het energiebesparingspotentieel groter dan bij hogere procestemperaturen (European Industrial Insulation Foundation (EiIF), 2021). De procesgasbesparing wordt berekend door het procesgasgebruik te vermenigvuldigen met de procentuele besparing die gerealiseerd kan worden middels procesisolatie. Het resterende procesgasgebruik wordt gebruikt als uitgangspunt voor de berekende procesgasbesparing door genoemde overige besparingstechnologieën.

2. Industriële warmtepomp

Warmtepompen hebben een direct energiebesparingseffect en kunnen het procesgasgebruik door gasketels en -boilers verminderen of volledig verdringen, waarbij de proceswarmte kan worden verduurzaamd door gebruik te maken van groene stroom. Met een industriële warmtepomp wordt restwarmte opgewaardeerd naar proceswarmte. Voor industriële grootverbruikers binnen de EU28 is aangetoond dat er voldoende restwarmte binnen het eigen productieproces aanwezig is om op te waarden naar proceswarmte tot 100°C (Marina et al., 2021). Het betreft hier proceswarmte die wordt gebruikt voor bijvoorbeeld spoelen, reinigen en pasteuriseren (KWA Bedrijfsadviseurs, 2021). Voor de sector Industrie is per SBI code de potentiële procesgasbesparing door industriële compressiewarmtepompen berekend, waarbij is aangenomen dat alle proceswarmte tot 100°C door deze technologie wordt geleverd en dat hiervoor voldoende restwarmte aanwezig is uit het eigen productieproces. Als universele restwarmtetemperatuur is 55°C aangenomen voor alle SBI codes. Op basis van het temperatuurverschil tussen rest- en proceswarmte, en uitgaande van een Carnotrendement van 50%, bedraagt de COP 4,1. Het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp is berekend door het bespaarde procesgasgebruik te vermenigvuldigen met een gasketelrendement van 90% en te delen door de COP van de warmtepomp.

3. Elektrische boiler

Elektrische boilers gebruiken elektriciteit om warm water of stoom te produceren. Deze technologie kan worden ingezet in industriële processen als alternatief voor gasketels en gasboilers die warm water of stoom produceren, waarbij de proceswarmte kan worden verduurzaamd door gebruik te maken van groene stroom. De twee meest gebruikte typen industriële elektrische boilers zijn elektrische elementboilers en elektrodeboilers. Voor de sector Industrie is per SBI code de potentiële procesgasbesparing door elektrische boilers berekend door aan te nemen dat deze technologie alle proceswarmte tussen 100°C en 250°C levert. Het betreft hier proceswarmte die wordt gebruikt voor bijvoorbeeld destilleren, indampen en drogen (KWA Bedrijfsadviseurs, 2021).

Het elektriciteitsgebruik van de elektrische boiler is berekend door het procesgasgebruik voor proceswarmte tussen 100°C en 250°C te vermenigvuldigen met een gasketelrendement van 90% gedeeld door een elektrisch boilerrendement van 95%.

4. Elektrische ovens en fornuizen

Elektrische ovens en fornuizen zetten elektriciteit om in warmte waarmee industriële processen direct of indirect worden verwarmd. Hierbij kan proceswarmte worden verduurzaamd door gebruik te maken van groene stroom. Een belangrijk voordeel van industriële elektrische ovens en fornuizen ten opzichte van gasovens en -fornuizen is de nauwkeurigheid van de temperatuurregeling omdat de stroom naar de verwarmingselementen zeer snel en nauwgezet kan worden geregeld. Voor de sector Industrie is per SBI code de potentiële procesgasbesparing door elektrische ovens en fornuizen berekend door aan te nemen dat deze technologie alle proceswarmte tussen 250°C en 500°C en boven de 500°C levert. Het betreft hier proceswarmte die wordt gebruikt voor bijvoorbeeld bakken, drogen, gloeien, sinteren, harden en smelten (KWA Bedrijfsadviseurs, 2021). Afhankelijk van stand van technologie en industriële toepassing kunnen elektrische ovens en fornuizen tot 38% energiezuiniger zijn dan gasovens en -fornuizen (Goodman et al., 2012), (Bourtsalas et al., 2023). Dit komt met name door de afwezigheid van rookgasverliezen. Voor deze studie is aangenomen dat elektrische ovens en fornuizen 20% energiezuiniger zijn. Het elektriciteitsgebruik van elektrische ovens en fornuizen is berekend door de besparing op procesgasgebruik te vermenigvuldigen met 80%.

Procesgebonden elektriciteit

Het gebruik van elektriciteit in de procesindustrie is zeer divers en kan ruwweg onderverdeeld worden in de volgende categorieën: elektromechanische aandrijfsystemen, proceswarmte, elektrochemie, proceskoeling, verlichting en overige (zie Tabel C.3). Circa 80% van het totale procesgebonden elektriciteitsgebruik wordt toegepast voor aandrijfsystemen en proceswarmte. Voor de sector Industrie is de elektriciteitsbesparing voor alle SBI codes gelijk verondersteld, aangezien een onderverdeling van toepassing naar SBI code op 2 cijferniveau ontbreekt voor industrie buiten industriecluster 1 t/m 5. Als voldoende aandacht uitgaat naar de toepassing van efficiënte aandrijfsystemen, is nog een aanzienlijke besparing op het huidige elektriciteitsgebruik te realiseren.

Tabel C.2: Aandeel mondiaal finaal elektriciteitsverbruik naar toepassing binnen de sector Industrie (IEA 2017) en potentiële besparing op procesgebonden elektriciteitsgebruik (Sipma, 2017).

	Aandeel elektriciteitsverbruik	Potentiële elektriciteitsbesparing	Besparing procesgebonden elektriciteitsgebruik
Aandrijfsystemen	69%	25%	17,3%
Proceswarmte	12%	13%	1,6%
Elektrochemie	6%	10%	0,6%
Proceskoeling	6%	25%	1,4%
Verlichting	4%	60%	2,6%
Overige	3%	10%	0,3%

1. Aandrijving

In Europa en ook Nederland komt 65% tot 70% van het industriële elektriciteitsverbruik voor rekening van elektromechanische aandrijfsystemen (Werkhoven et al., 2018), (Sipma, 2017), (Van Engelen, 1992). Deze systemen bestaan uit elektromotoren die pompen, ventilatoren, compressoren en machines en productiesystemen aandrijven, inclusief regelaars, besturingen en overbrengingen. Op deze elektromechanische aandrijfsystemen kan 20% tot 30% energie efficiëntieverbetering worden gerealiseerd (Werkhoven et al., 2018). Uitgaande van een gemiddelde potentiële procesgebonden elektriciteitsbesparing van 25% bedraagt de totale procesgebonden elektriciteitsbesparing voor de sector Industrie 17,3%.

2. Proceswarmte

Voor sommige processen binnen de industrie wordt al (van oudsher) elektrificatie toegepast voor het maken van proceswarmte. Hierbij moet gedacht worden aan weerstands-, infrarood- en microgolf verwarming, boog- en plasmaverwarming maar ook mechanische dampcompressie. Van het totale procesgebonden elektriciteitsgebruik binnen de sector Industrie wordt mondiaal 12% gebruikt voor de productie van proceswarmte (Sipma, 2017). Aangenomen is dat middels isolatie 3% en door efficiencyverbetering 10% kan worden bespaard op het elektriciteitsgebruik, waarmee de totale procesgebonden elektriciteitsbesparing voor de sector Industrie uitkomt op 1,6%.

3. Elektrochemie

Onder elektrochemie wordt de interconversie van chemische en elektrische energie verstaan. Chloorproductie via elektrolyse is een van de meest bekende elektrochemische processen (Ikink, 2016). Maar ook bijvoorbeeld elektrokatalytische conversie, verzinken, vernikkelen en galvaniseren vallen hieronder. Van het totale elektriciteitsgebruik binnen de sector Industrie wordt mondiaal 6% gebruikt voor elektrochemische processen (Sipma, 2017). Aangenomen is dat door efficiencyverbetering 10% kan worden bespaard op het elektriciteitsgebruik, waarmee de totale procesgebonden elektriciteitsbesparing voor de sector Industrie uitkomt op 0,6%.

4. Proceskoeling

In bijna elke industriële productie- of verwerkingsinstallatie wordt één of andere vorm van proceskoeling toegepast (Grundfos, 2019). Onder proceskoeling wordt verstaan het koelen van een koudedragers waarmee een product, machine of ruimte (koel- en vrieshuizen) in een productieproces wordt gekoeld, waarbij de temperatuur veelal ligt onder de circa 12°C. Meestal wordt hiervoor een compressiekoelmachine toegepast (RVO, Juli 2015). Door gebruik te maken van efficiëntere motoren en pompen (10-27% besparing), aparte druktrappen (30-40% besparing) en centrale besturingssystemen (5-10% besparing) kan het elektriciteitsgebruik worden gereduceerd (RVO, 2017). Uitgaande van een gemiddelde potentiële elektriciteitsbesparing van 25% bedraagt de totale proces gebonden elektriciteitsbesparing voor de sector Industrie 1,4%.

5. Verlichting

Het aandeel verlichting in het industriële (proces)electriciteitsgebruik is betrekkelijk gering en bedraagt ongeveer 4%. Wordt de basisindustrie (grote bedrijven die zeer veel elektriciteit in het productieproces gebruiken) buiten beschouwing gelaten en kijken we alleen naar de verwerkende industrie, dan bedraagt verlichting 15% van het elektriciteitsgebruik (Van Engelen, 1992). Het gemiddelde verlichtingsrendement kan door bredere toepassing van efficiënte lampen, armaturen en voorschakelapparatuur nog toenemen. De elektriciteitsbesparing die hiermee kan worden gerealiseerd ligt tussen de 30% en 70%, afhankelijk van het type verlichting dat vervangen wordt en de bedrijfsspecifieke situatie.

Gemiddeld gezien wordt uitgegaan van 60% elektriciteitsbesparing (Lintmeijer et al., 2019), waarmee de totale proces gebonden elektriciteitsbesparing voor de sector Industrie uitkomt op 2,6%.

6. Overige

Ongeveer 3% van het totale elektriciteitsgebruik binnen de sector Industrie valt onder de categorie Overige. Aangenomen is dat door efficiencyverbetering 10% kan worden bespaard op het elektriciteitsgebruik, waarmee de totale proces gebonden elektriciteitsbesparing uitkomt op 0,3%. Deze aanname is conform (Nordkamp et al., 2021).

Bijlage D

Overzicht gebouwmaatregelen

Gebouwgebonden aardgasbesparing

Dakisolatie, Gevelisolatie, HR++ glas en Warmteterugwinning ventilatie

In de EPS wordt een warmteverliesberekening gemaakt van de gebouwschil van een pand. Aannames daarin zijn de geometrie van een pand vanuit de 3D BAG, het isolatieniveau (Rc-waarden) en het buitentemperatuurverloop op uurniveau. Daaruit volgt het warmteverlies per schilonderdeel (dak, gevel, raam, vloer) en door mechanische ventilatie bij het huidige isolatieniveau. Het huidige isolatieniveau is afhankelijk van het bouwjaar. Er wordt hierbij geen rekening gehouden met reeds uitgevoerde renovaties.

Na isolatie zijn de Rc-waarden van de verschillende schilonderdelen verbeterd en wordt het nieuwe warmteverlies en de besparing berekend. Dit warmteverlies is afhankelijk van de relatieve verbetering van de schilonderdelen en de oppervlakte van deze schilonderdelen. Ook is bepaald hoeveel warmteverlies kan worden voorkomen met warmteterugwinning op de mechanische ventilatie. Dit betreft een techniek om warmte uit uitgaande ventilatielucht te benutten voor verwarming. Dit kan alleen worden toegepast bij gebouwen met een mechanisch ventilatiesysteem.

De Rc-waarden waarnaar wordt verbeterd horen bij nieuwbouwkwaliteit (dak Rc=7, gevel Rc=4,5, glas Rc=0,83). Afhankelijk van het bouwjaar levert dit een verbetering op in de isolatiewaarde en een besparing op de warmtevraag op. Deze besparing op de warmtevraag is omgerekend naar aardgasbesparing uitgaande van een energie-inhoud van aardgas van 31,65 MJ/m³ (op calorische onderwaarde) en een ketelrendement voor ruimteverwarming van 100%.

Volledig elektrische warmtepomp

Warmtepompen hebben een direct energiebesparingseffect en kunnen het aardgasgebruik door gasketels verminderen (in geval van hybride) of volledig vervangen. In de EPS doorrekening is uitgegaan van een volledig elektrische lucht-water warmtepomp ter vervanging van een gasketel. De panden worden in de EPS indien nodig eerst na-geïsoleerd en voorzien van een LT-afgiftesysteem en zijn daarmee geschikt voor toepassing van dit type verwarmingssysteem op lagere temperatuur. De warmtevraag die resteert na besparing door isolatie en warmteterugwinning wordt ingevuld door de warmtepomp. Na toepassing van de warmtepomp is het gebouwgebonden aardgasgebruik gereduceerd tot nul. De elektriciteits-vraag voor de warmtepomp is berekend. Daarbij is als uitgangspunt genomen dat de lucht-water warmtepomp een gemiddelde jaarlijkse coëfficiënt of performance (rendement) van 3,3 heeft voor ruimteverwarming. De warmtepomp wordt ook voor koeling gebruikt en de besparing op koeling is berekend uitgaande van een coëfficiënt of performance van 3 voor koeling in de uitgangssituatie.

De besparing op koeling is van toepassing indien het om een open systeem (Warmte Koude Opslag/WKO) gaat met een vermogen van meer dan 500 kW. Voor de kleinere koelsystemen met een warmtepomp is geen besparing gerekend.

Gebouwgebonden elektriciteitsbesparing

LED-verlichting

Op basis van kengetallen worden het originele elektriciteitsverbruik voor gebouwgebonden binnenverlichting en het gebruik na installatie van LED berekend. De reductie in elektriciteitsverbruik wordt afgeleid uit de lichtopbrengst (lumen/Watt) van de oude verlichting en van LED. Het totaal aantal benodigde lumen wordt hierbij gelijk gehouden. Er wordt ook rekening gehouden met de huidige toepassing van de gloeilamp, halogeen, spaarlamp, TLD (T8), TL T5 en LED, waarbij alleen op het aandeel van de verlichting dat nog geen LED verlichting is wordt bespaard.

Zon-PV op dak

Het oppervlak dat beschikbaar is voor PV wordt berekend als een aandeel van het dakoppervlak, waarbij hogere gebouwen (40%) vaak minder dakoppervlak beschikbaar hebben dan middelhoge (70%) of lage gebouwen (80%) door installaties, liftschachten en dergelijke. Er is geen aannahme gemaakt over de geschiktheid van de dakconstructie. PV wordt daarom standaard op alle daken toegepast in de EPS.

Het dakoppervlak wordt gelijk genomen aan het grondoppervlak van het pand in de BAG. Er wordt dus uitgegaan van een plat dak.

De hoogte van het pand wordt geschat via 3D BAG (3D Geoinformation Group, TU Delft) of, wanneer hier geen realistische waarde beschikbaar is, het aantal bouwlagen (Oppervlakte verblijfsobjecten / oppervlakte pand) te vermenigvuldigen met 4 meter.

Het opwekvermogen van zonnepanelen dat wordt gehanteerd is 200 Wp/m². Hiermee wordt 180 kWh/m²/jaar elektriciteit geproduceerd bij 1,000 zonuren per jaar met een performance ratio van 90%.

Veegpulsschakeling

Een veegpulsschakeling schakelt de verlichting in het pand (of in specifieke ruimten) automatisch uit op een voorinsteld tijd, bijvoorbeeld na werktijd. Gebruikers kunnen de verlichting zelf weer aanzetten indien gewenst om dit effect mee te “overrulen” (Stimular, 2023). De besparingspercentages van de verlichtingsmaatregelen zijn afkomstig uit tabel 11 in (RVO, 2022). Voor veegpulsschakeling is gerekend met een besparing van 5%.

Aanwezigheidsdetectie

Aanwezigheidsdetectie is een maatregel waarbij in een ruimte een sensor gemonteerd wordt die, zodra iemand de ruimte betreedt, de verlichting inschakelt. De sensor schakelt de verlichting weer uit zodra de ruimte weer verlaten is. (Stimular, 2023) Voor aanwezigheidsdetectie is gerekend met een besparing van 10% (RVO, 2022).

Daglichtafhankelijke regeling

Met een daglichtafhankelijke regeling wordt de hoeveelheid (intensiteit) van de binnenverlichting afgestemd op de lichtbehoefte, afhankelijk van de hoeveelheid daglichtintrede. Er bestaan regelingen die de verlichting aan- en uitschakelen en regelingen die de hoeveelheid verlichting regelen (bijv. met dimmers of voorschakelapparatuur).

Een daglichtafhankelijke regeling kan van toepassing zijn op een lamp, een lichtstraat of de gehele verlichting in een ruimte (Stimular, 2023). Voor daglichtafhankelijke regeling is gerekend met een besparing van 15% (RVO, 2022).

Schakelklok ventilatie

Daarnaast is de maatregel “schakelklok toepassen om ventilatie buiten bedrijfstijd te voorkomen” meegenomen in het potentieel. Als vervuilde lucht via de mechanische ventilatie moet worden afgevoerd, moet de ventilator aan staan. Op momenten dat er geen behoefte is aan ventilatie is, bijvoorbeeld buiten bedrijfstijd, kan de ventilatie uitstaan (of op een lager debiet als uitschakelen geen optie is). Een tijdschakelaar kan op ingestelde tijdstippen de ventilatie onderbreken. De ventilatie wordt zo'n 30 minuten voordat het eerste personeel aanwezig is ingeschakeld. De maatregel bespaart ten opzichte van situaties waar de ventilatie volcontinue aanstaat waarbij dat niet nodig is (Stimular, 2023). Voor deze maatregel is een besparing van 55% op het elektriciteitsgebruik van het ventilatiesysteem als uitgangspunt gehanteerd (RVO, 2022).

Overige aannames verlichtingsregelingen en ventilatie

Bij de bovenstaande vier maatregelen voor verlichting en ventilatie is geen rekening gehouden met de penetratiegraad in 2020, waardoor het maximale besparingspotentieel is berekend voor deze maatregelen. Er is wel rekening gehouden met de interactie tussen de verschillende besparingsmaatregelen op verlichting (LED en regelingen). Dat houdt in dat de besparingspercentages niet bij elkaar worden opgeteld, maar dat de maatregelen één voor één zijn doorgerekend en dus steeds besparen op het resterende verbruik na de vorige maatregel.

Bijlage E

Overzicht erkende maatregelen

In Tabel E.1 is van de maatregelen uit deze studie aangegeven welke daarvan op de huidige erkende maatregelenlijst (EML) behorende bij de informatieplicht energiebesparing staan. De EML maatregelen hebben een terugverdientijd van 5 jaar of minder. Bedrijven zijn verplicht deze maatregelen - als deze van toepassing zijn - uit te voeren en hierover te rapporteren in het kader van de informatieplicht energiebesparing.

Tabel E.1: Overzicht categorisering maatregelen in deze studie naar erkende maatregelen uit de informatieplicht energiebesparing (RVO, 2023b)

Maatregel	Op EML 2023?	Toelichting	EML code
Geboungerelateerde maatregelen			
Gebouw dakisolatie	Ja	Ja. Plat dakisolatie voor een ongeïsoleerd plat dak van een verwarmd gebouw (verwarmd tot minimaal 18 graden °C)	GB2 en GB4
Gebouw gevelisolatie	Nee	Nee, maar spouwmuurisolatie wel	GB1
Gebouw HR++ glas	Ja	Ja. In bestaande kozijnen enkelglas door HR vervangen.	GB5
Gebouw wtw ventilatie	Ja	Ja, als mechanische toe- en afvoer aanwezig is zonder wtw	GD2
Gebouw warmtepomp verwarming	Nee	Nee all-electric niet, hybride wel (een lucht-water warmtepomp bijgeplaatst naast de bestaande verwarmingsketel)	GC2
Gebouw warmtepomp koeling	Nee	-	-
Gebouw verlichting LED	Ja	Ja. Als de bestaande armaturen geschikt zijn	GF2 t/m GF15
Gebouw verlichting veegpuls	Ja	Ja. Als de verlichting onnodig brandt buiten gebruikstijden	GF1
Gebouw verlichting aanwezigheidsdetectie	Ja	Ja. Als de verlichting onnodig brandt buiten gebruikstijden	GF1
Gebouw verlichting daglichtafhankelijke regeling	Nee	Nee niet meer, maar wel voor terreinverlichting. In 2022 stond deze nog wel op de EML maar is afgevallen wegens een te lange terugverdientijd	-
Gebouw ventilatiesysteem schakelklok	Ja	Ja. Als er een ventilatiesysteem is zonder sturing op vastgestelde tijden.	GD1

Maatregel	Op EML 2023?	Toelichting	EML code
Procesgerelateerde maatregelen			
Proceswarmte isolatie	Ja	-	PE2
Proceswarmte HT Warmtepomp (T<100°C)	Nee	-	-
Proceswarmte elektrische boiler (100°C<T<250°C)	Nee	-	-
Proceswarmte directe elektrificatie (250°C<T<500°C)	Nee	-	-
Proceswarmte directe elektrificatie (T>500°C)	Nee	-	-
Proceswarmte E-oven voeding (100°C<T<250°C)	Nee	-	-
Proceswarmte E-droger papier (100°C<T<250°C)	Nee	-	-
Proces elektriciteit efficiënte aandrijving	Ja	-	FC1 t/m FC5
Proces elektriciteit proceswarmte	Ja	-	PE1 t/m PE8
Proces elektriciteit elektrochemie	Nee	-	-
Proces elektriciteit koeling	Ja	-	PF1 t/m PF3
Proces elektriciteit verlichting	Nee	-	-
Proces elektriciteit overig	Nee	-	-
Zonnepanelen	Ja	Ja. Er is een grootverbruik aansluiting voor elektriciteit (meer dan 3x80 A). Er is ten minste 2.000 m ² aan geschikt dakoppervlak beschikbaar voor het plaatsen van minimaal 300 kWp aan zonnepanelen.	FK1

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

TNO innovation
for life