

Het besparingspotentieel van Elektrische Aandrijfsystemen in de Nederlandse industrie en dienstensector...

*...en het deel hiervan dat gedekt wordt
met Green Deal B-133*

Sipma J.M. (ECN Beleidsstudies)

April 2017
ECN-E--17-021



Verantwoording

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken heeft ECN het besparingspotentieel doorgerekend van de Green Deal 'Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen'.

Contactpersoon bij ECN is Jeffrey Sipma (088 515 4315, sipma@ecn.nl).
Het interne projectnummer bij ECN is 5.4177.

“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”

Abstract

Background

Fifty-three percent of all global electricity consumption is used for electric motors which drive for example pumps, and ventilation and compressor systems. In the industrial sector, these electric motor driven systems consume around 70% of total electricity consumption. These motors and their system-components are often outdated and energy-inefficient. By optimising them and increasing their efficiency, a large amount of electricity could be saved.

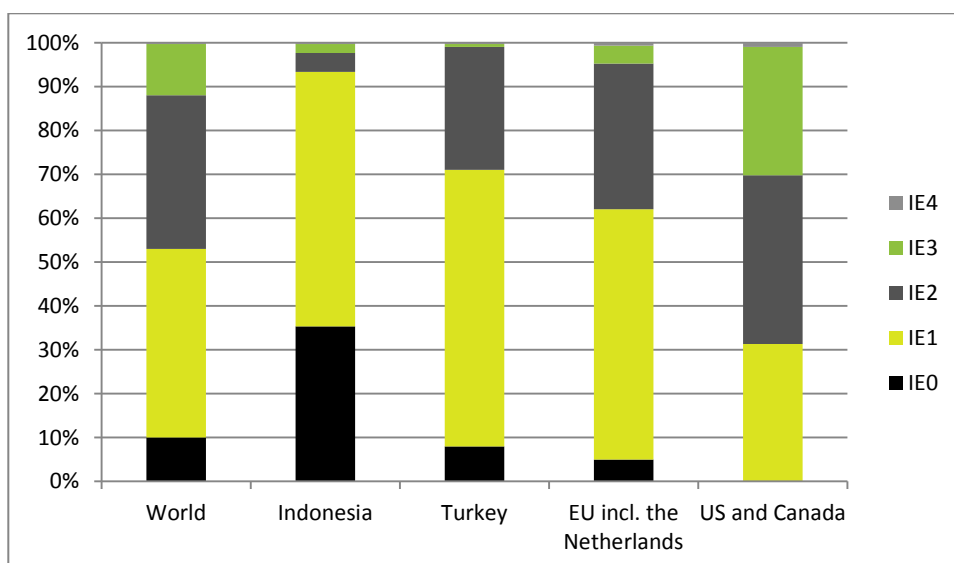
The [Green Deal](#) approach in the Netherlands is an accessible way for companies, other stakeholder organisations, local and regional government and interest groups to work with the Central Government on green growth and social issues. The aim is to remove barriers in order to help sustainable initiatives get off the ground and to accelerate this process where possible, and central government plays a key role in this area. Initiatives often start from the bottom up, in response to societal dynamics. Recently a Green Deal was designed concerning the above mentioned topic; electric motor driven systems in the industrial and commercial sector; in Dutch the '[Green Deal Elektrische Aandrijfsystemen](#)'. ECN was asked by the Ministry of Economic Affairs to calculate the potential electricity savings of the Green Deal.

Making use of International data

The Netherlands has no detailed inventory of electric motors and their driven systems in the industry and commercial sector. In fact, only very few countries have this insight. Therefore, often research such as this is reliant on *expert judgments*. But, by making use of sparsely available international data and reports, we believe we were able to get a better understanding of the situation in the Netherlands. We have used international data to estimate the market share by efficiency-classes, for several geographical regions, as shown in Figure S1 below. The International Efficiency (IE) class starts at '0', indicating very old, in-efficient electric motors. IE4 has a 'super premium efficiency'.



Figure S1: Share of running electric motors by IE-class, for several geographical regions, 2016



For these regions, the savings potentials have been calculated when older in-efficient electric motors will be replaced by more efficient ones, as shown in the below Table S1. This at the same time serves as a sensitivity analysis.

Table S1: Savings potential when a Minimum Energy performance Standard (MEPS) would be introduced/sharpened at a certain efficiency-class, starting at electric motor sizes of 0.75kW

	MEPS IE2	MEPS IE3	MEPS IE4
World	1.7%	3.2%	4.0%
Indonesia	3.5%	5.2%	6.0%
Turkey	2.1%	3.8%	4.6%
EU incl. the Netherlands	1.8%	3.4%	4.2%
US & Canada	0.9%	2.0%	2.8%

1. When all Dutch IE0+IE1+IE2 electric motors, starting at 0.75 kW, would be replaced by IE3 (which represents the EU regulation, sharpened January 1st, 2017), this would lower the electricity consumption by 3,4% .
2. A ±10 percentage-points deviation from the assumed Dutch share of IE0+IE1 electric motors (Figure S1), would change this calculated savings potential with ±0.5 percentage-points.
3. When the MEPS would be set at IE4, the savings potential would increase by 0.8 percentage-points.
4. When the MEPS would be applicable for electric motors starting at 7.5 kW, instead of 0.75 kW, the savings potential would reduce by 1 percentage-points (not shown in Table S1).

In the first column of Table S2, the Dutch savings potential found in Table S1 has been divided into a savings potential for the industrial and commercial sectors.

Table S2: Assumptions of savings potential for different types of driven systems within the industrial and commercial sector; and combined for the Dutch situation

	1 Electric motors	2 flow-systems	3 flow-systems	4 other systems	5 weighted average columns 3 and 4 for the Netherlands
	Changing obsolete electric motors for efficient IE3 ones, starting at 0.75 kW	Column 1, completed with a VSD for pump-, fan- and compressor systems	Columns 1 and 2, followed by a cost-effective optimization for pump-, fan- and compressor systems	Column 1, followed by a cost-effective optimization for other driven systems	Column 1, followed by a cost-effective optimization for all driven systems
Industrial sector	3.1%	10.6%	25.0%	17.5%	22.2%
Commercial sector	4.3%	9.7%	15.0%	9.6%	14.0%
Weighted average for the Netherlands	3.4%	10.3%	21.4%	16.2%	19.8%

Besides replacing the old electric motor for a new one, the *driven system* could be optimized as well, leading to additional savings. The second column shows the savings potential when a Variable Speed Drive (VSD) is added for pump-, fan- and compressor-systems (called ‘flow-systems’ in the table). In the third column, these flow-systems are fully, but still cost-effectively, optimized. In the fourth column, all other driven systems (integrated in e.g. conveyors, extruders, mixers, escalators) are given a cost-effective savings potential. The last column and row show the weighted average for the Dutch situation.

Results

The percentages shown here have been combined with the electricity consumption in the Dutch industrial and commercial sector, in 2016. The result is that 9 TWh (33 PJ) of electricity can be saved if all driven systems within the industrial and commercial sector are optimised. This relates to 11% of total electricity consumption from these sectors and 8% of the total national electricity consumption.

The Green Deal focuses on a specific segment within these sectors; the 800 industrial companies with a so called [MJA](#) ‘long term agreements’ (on energy efficiency) with the government. Other companies involved are those for which participation in the European Union Emissions Trading System (ETS) is compulsory (around 1050 industrial plants). These are in general the bigger energy consumers, where a time investment in an extensive energy audit pays itself back with relatively large savings. Therefore, the Green Deal covers at this moment 33% (3,0 TWh, 11 PJ) of the existing savings potential.

In reality, these savings are already part of other policy programs aiming at energy savings in general. But a more specific focus on electric motor driven systems, is indeed an interesting one in which large savings can be achieved. This focus could accelerate the realisation of the savings identified in this research, especially since identified barriers are addressed. Together with the savings, it would also offer job creation and economically attractive investments.

It would also lower the base load for national electricity production. In fact, if these systems would be optimised worldwide tomorrow, we would save 1,350 TWh globally, and the construction of 200 new coal-fired power plants would be unnecessary, as calculated in an [article](#) (Sipma J.M., 2017b).

Inhoudsopgave

Samenvatting	9
1 Aanleiding en leeswijzer	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Internationale aandacht voor elektrische aandrijfsystemen	13
1.3 Leeswijzer	14
2 Introductie elektromotoren en de hiermee aangedreven systemen	15
2.1 Elektromotoren	15
2.2 Aangedreven systemen met elektromotoren	19
2.3 Samenvatting	20
3 Algemeen inzicht in besparingspotentiëlen	21
3.1 Vervanging verouderde elektromotor	21
3.2 Extra besparingspotentieel door ‘systeembenadering’	25
3.3 Samenvatting	28
4 Besparingspotentieel voor het Nederlandse elektromotorenpark	29
4.1 Een lastige berekeningsstrategie	29
4.2 Voorbeelden vanuit de literatuur	30
4.3 Aanname elektromotorenpark Nederland 2016 naar vermogen en IE-klassen	34
4.4 Procentueel besparingspotentieel Nederland elektromotoren	35
4.5 Procentueel besparingspotentieel dienstensector versus industrie	36
4.6 Procentueel besparingspotentieel industriële subsectoren	38
4.7 Besparingspotentieel Nederlandse industrie en dienstensector IE3- elektromotoren in TWh	38
4.8 Additioneel besparingspotentieel IE4-elektromotoren in TWh	40
4.9 Samenvatting	41
5 Aanvullend besparingspotentieel van een systeembenadering	43
5.1 Systeemgrenzen Green Deal	43
5.2 Voorbeelden vanuit de literatuur	44
5.3 Uitgangspunten procentuele besparingspotentiëlen	47

5.4	Besparingspotentieel Nederlandse industrie en dienstensector systeembenadering in TWh	48
5.5	Samenvatting	50
	Referenties	52
Bijlage A.	Analyse mondiale elektromotorenpark naar IE-klassen	55
Bijlage B.	Door elektromotoren aangedreven systemen binnen de industrie en dienstensector	58
Bijlage C.	Studie besparingspotentieel systeembenaderingen elektromotoren in Nederland	60

Samenvatting

Elektromotoren en de hiermee aangedreven systemen

Elektromotoren zijn er in alle soorten en maten en zijn verantwoordelijk voor meer dan de helft van het mondiale elektriciteitsverbruik. Een elektromotor is een relatief eenvoudig apparaat en in beginsel ook relatief eenvoudig efficiënter te maken. Deze efficiëntie wordt weergegeven als een IE-klasse; IE1 wordt gezien als een elektromotor met een 'standaard efficiëntie'; de IE5 is 'zeer efficiënt' maar nog nauwelijks commercieel verkrijgbaar. Conform EU wetgeving, mag Nederland sinds 2015 enkel IE3 motoren importeren en produceren. De keus mag nog wel op een IE2 elektromotor vallen wanneer deze is voorzien van een toerentalregeling. Wanneer IE4 wordt gekozen, is EIA subsidie beschikbaar. Vele elektromotoren drijven pomp-, compressor- en ventilatiesystemen aan. Deze drie 'stromingssystemen' hebben overeenkomstige eigenschappen met betrekking tot besparingsopties.

Besparingspotentieel vervangen verouderde elektromotor

Wanneer een verouderde elektromotor wordt vervangen door een efficiëntere, is redelijk eenvoudig vooraf te bepalen welke efficiëntieverbetering zal worden gerealiseerd. In de industrie draaien vele motoren het gehele jaar door en is een efficiëntere, maar duurdere motor vaak binnen slechts een paar maanden terugverdiend. Wanneer de industrie een terugverdientijd van 2 jaar accepteert, is in veel situaties nog steeds een IE4 te verkiezen boven een IE3; de return on investment zal vaak gunstiger zijn.

Extra besparing 'systeembenadering'

Stel dat een elektromotor een pompsysteem aandrijft. Wat zou het besparingspotentieel zijn wanneer dit gehele systeem bij de analyse wordt betrokken? Dit kan voor complete retrofits oplopen tot een factor 10 meer besparing. Bijvoorbeeld 5,5% besparing wanneer enkel een elektromotor wordt vervangen, oplopende tot meer dan 55% wanneer een geheel pompsysteem wordt geoptimaliseerd. In de praktijk blijken kosteneffectieve investeringen in 'stromingssystemen' binnen de industrie te resulteren in 20 tot 30% elektriciteitsbesparing.

Nationaal besparingspotentieel

Wanneer alle elektrisch aangedreven systemen binnen de industrie en de dienstensector worden geoptimaliseerd, levert dit ruim 9 TWh (33 PJ_finaal) elektriciteitsbesparing op. Dit is een besparing van 11% ten opzichte van het totaal elektriciteitsverbruik binnen deze sectoren, en 8% ten opzichte van het totaal nationaal elektriciteitsverbruik.

Green Deal besparingspotentieel

Green Deal B-133 heeft als doelstelling bedrijven te stimuleren de systeembenadering toe te passen, in plaats van enkel een verouderde elektromotor te vervangen. De eerste fase van de Green deal is uitgevoerd tussen 2013 en 2015. Op dit moment wordt een vervolgaanpak onderzocht. De Green Deal focust zich op de industriële bedrijven binnen de MJA/ETS convenanten waar 3,0 TWh (11 PJ_finaal) besparingspotentieel ligt. Hiermee neemt de Green deal 33% van het Nationaal besparingspotentieel binnen de industriële en dienstensector voor haar rekening. Dit zijn over het algemeen de grotere bedrijven met een relatief groot energieverbruik, waar een tijdsinvestering in een uitgebreide energy audits ook relatief veel energiebesparing kan opleveren.

Geen nieuw besparingspotentieel

Dit is geen nieuw potentieel en heeft deels overlap met andere energy efficiency trajecten, zoals MJA-convenanten en het handhaven van de Wet Milieubeheer. Een aanpak als de Green Deal probeert de barrières benoemd in paragraaf 3.2 te overwinnen, waardoor dit potentieel daadwerkelijk wordt geogst. Bovendien wordt een pakketbenadering gepromoot, waarmee bedrijven worden verleid een stap verder te gaan dan gebruikelijk. De focus op elektromotoren en de hiermee aangedreven systemen maakt dit verhaal daarom interessant; de bewustwording dat deze systemen verantwoordelijk zijn voor zo'n groot deel van het elektriciteitsverbruik en dus ook een groot besparingspotentieel vertegenwoordigen.

Aanvullende positieve effecten van de systeembenadering

Naast deze energetische effecten, zijn er positieve effecten voor de werkgelegenheid en investeringen in de economie. Ook verlaagt dit de basislast voor elektriciteitscentrales aanzienlijk. Om dit in perspectief te plaatsen; wanneer deze systemen morgen wereldwijd zouden zijn geoptimaliseerd, wordt de bouw van 200 kolencentrales overbodig, hebben we in een [artikel](#) uitgerekend (Sipma J.M., 2017a).

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

1. Het aandeel elektriciteitsverbruik dat voor rekening komt van MJA en ETS bedrijven (beter) in kaart brengen.
2. Het Nederlandse elektromotorenpark Inventariseren naar IE-klasse, bouwjaar en aangedreven systeem.

1

Aanleiding en leeswijzer

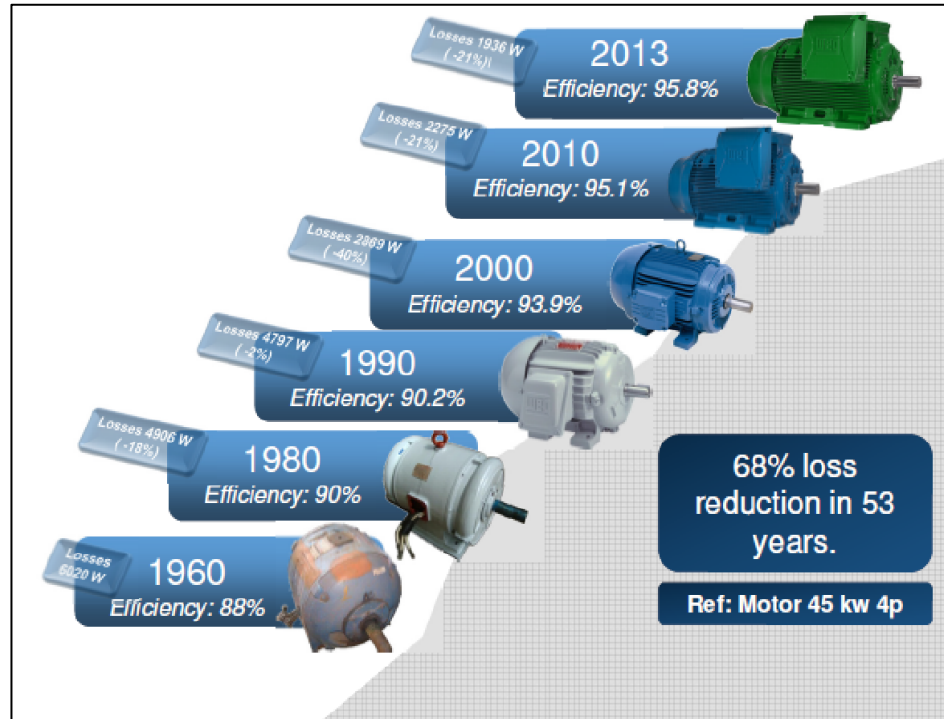
1.1 Aanleiding

Het ministerie van Economische Zaken heeft ECN gevraagd de Green Deal '[Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen](#)' door te rekenen. De eerste fase van de Green deal is uitgevoerd tussen 2013 en 2015. Op dit moment wordt een vervolgaanpak onderzocht. De betreffende Green Deal schrijft:

De Green Deal Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen (GD EEA), waarin FEDA (brancheorganisatie van producenten van elektromotorsystemen), UNETO-VNI (brancheorganisatie van installateurs en onderhoudsbedrijven), het Ministerie van Economische Zaken (EZ) en RVO.nl (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland) samenwerken, richt zich op het maximaliseren van de efficiëntie van in Nederland toegepaste elektromechanische aandrijfsystemen. Deze systemen bestaan uit elektromotoren die pompen, ventilatoren, compressoren en allerlei machines en productiesystemen aandrijven, inclusief regelaars, besturingen, overbrengingen, etc. Door met deze elektromotorsystemen 20 tot 30% energie-efficiëntieverbetering te realiseren wordt 5 tot 8% bespaard op het nationaal elektriciteitsverbruik (Werkhoven et al, 2016a).

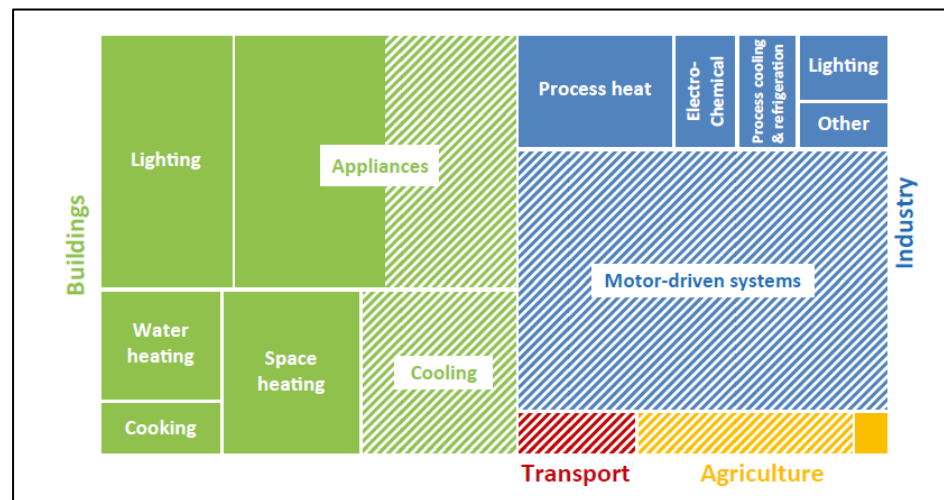
ECN heeft onlangs een project in Indonesië afgerond waaruit bleek dat er een tot de verbeelding sprekend besparingspotentieel ligt bij elektromotoren en bij de hiermee aangedreven systemen (pompen, ventilatoren, transportbanden, etc.) (Sipma J.M., 2016). Bovendien kan een groot deel van dit potentieel kosteneffectief geoogst worden. Elektromotoren zijn relatief eenvoudige en daardoor stabiele apparaten. Ze kunnen ook snel en vaak gerepareerd worden. Een groot deel van het draaiende elektromotorenpark bestaat daarom uit verouderde motoren die ver voorbij hun oorspronkelijk technische levensduur nog steeds opereren. De efficiëntietoename van verbeterde elektromotoren, zoals geïllustreerd in **Figuur 1**, blijft hierdoor onbenut; vandaar het grote besparingspotentieel.

Figuur 1: Efficiëntietoename door de jaren heen voor een 45 kW elektromotor (Werkhoven, 2016a).



De literatuur schat in dat 53% van het mondiale elektriciteitsverbruik naar elektromotoren gaat¹ (IEA, 2017); grafisch weergegeven door **Figuur 2**.

Figuur 2: Grafische voorstelling van het mondiaal elektriciteitsverbruik naar sector en toepassing. Het gearceerde vertegenwoordigt systemen die door elektromotoren worden aangedreven (IEA, 2017)



Het aandeel binnen de industrie ligt het hoogst; in deze sector gaat 69% van het totaal elektriciteitsverbruik naar elektronmotoren. De overige sectoren bestaan uit de diensten-, transport-, agrarische- en huishoudelijke sector. Hier zijn relatief minder

¹ Tot 2016 werd langere tijd uitgegaan van zo'n 45-47%. Onlangs is dit door (IEA, 2017) bijgesteld naar 53%. De reden hiervoor is dat er wel efficiëntieslagen op het gebied van bijv. verlichting hebben plaatsgevonden, maar nog nauwelijks voor elektromotoren (Almeida, 2016).

elektromotoren aanwezig die bovendien minder draaiuren per jaar maken. Daarom ligt het aandeel elektriciteitsverbruik dat naar elektromotoren gaat hier lager. Volgens (Waide & Brunner, 2011) ligt dit percentage voor de transport- en agrarische sector (gezamenlijk) op 39%, voor de dienstensector op 38% en voor de huishoudelijke sector op 22%.

Literatuur gaat er van uit dat op de aangedreven systemen binnen de industrie maar liefst 20 tot 30% bespaard kan worden. Ook de Green Deal gaat van deze cijfers uit. Uitgaande van de ondergrens, zou dan $69\% \cdot 20\% = 14\%$ elektriciteitsreductie binnen de industrie mogelijk moeten zijn, een aanzienlijke hoeveelheid.

Alle sectoren beschouwd, zou Europa rond de 7% op haar elektriciteitsverbruik kunnen besparen. Als op wereldwijde schaal morgen alle systemen zouden worden geoptimaliseerd, zou in het jaar erna 1350 terawattuur aan elektriciteit worden bespaard (ook 7%), bijna 12 maal het totale huidige elektriciteitsverbruik van Nederland. Daardoor wordt de bouw van 200 nieuwe kolencentrales overbodig².

Dit zijn tot de verbeelding sprekende superlatieven. Voor het doorrekenen van de Green Deal willen we weten of deze procentuele besparingspercentages ook voor Nederland gelden. Na dit verworven inzicht wordt het besparingspotentieel voor Nederland berekend, en het deel dat hiervan wordt gedekt met de Green Deal.

1.2 Internationale aandacht voor elektrische aandrijfsystemen

Omdat elektrische aandrijfsystemen lang meegaan, zijn velen verouderd. Internationaal groeit de aandacht dan ook voor het forse besparingspotentieel dat hier ligt. De [UNEP-U4E 'Expert Taskforce on Electric Motors'](#), waar ook ECN aan deelneemt, heeft als primair doel richtlijnen te produceren voor overheden van ontwikkelingslanden en opkomende economieën, waarmee beleidsprogramma's op dit onderwerp kunnen worden ontwikkeld.

De [World Energy Outlook 2016](#) (IEA, 2017) heeft voor het eerst een hoofdstuk opgenomen over dit onderwerp. Daarin wordt berekend dat het mondiale elektriciteitsverbruik met 8% kan worden teruggedrongen door elektrische aandrijfsystemen te optimaliseren:

'With regard to efficiency, we highlight in WEO-2016 the potential for further improvement in the performance of electric motor systems, which account for more

2 Het besparingspotentieel in de EU wordt berekend in (Almeida et al, 2003; Keulenaar et al, 2004). Het mondiale potentieel in (IEA, 2017; U4E, 2017). Het hier vermelde mondiale potentieel is door ECN zelf berekend na afronding van dit onderzoek en opgenomen in een [artikel](#) (Sipma J.M., 2017a). In principe is dit een conservatieve schatting door uit te gaan van ondergrenzen en door de USA en Canada een minder groot besparingspotentieel toe te kennen met het argument dat een MEPS op energie-efficiënte elektromotoren hier al decennia terug is geïntroduceerd (zie paragraaf 1.3). In (IEA, 2017) wordt het potentieel voor het zichtjaar 2040 op 1600 TWh berekend (8% of het dan mondiale elektriciteitsverbruik), *'which corresponds to the shutting down of around 250 large coal power plants in that year'*.

than half of today's electricity consumption in a range of end-use applications (e.g. fans, compressors, pumps, vehicles, refrigerators).

The potential for energy savings in electric motor systems is only partly tapped in the New Policy Scenario, as existing policies mainly focus on the motor itself, while the largest savings potentials are in the wider system. Shifting policy attention to a system-wide energy efficiency approach, as assumed in the 450 Scenario, can reduce global electricity demand in electric motors by 8% (1600 TWh) in 2040. This corresponds to the shutting down of around 250 large coal power plants in that year. Overall, additional cumulative investment in industry of around \$300 billion is outweighed by avoided investment in power generation of \$450 billion.'

1.3 Leeswijzer

Het volgende hoofdstuk geeft een korte inleiding op elektromotoren, hun efficiëntie en de systemen die ze aandrijven. Ook wordt inzicht gegeven in het deel van het elektriciteitsverbruik binnen de industrie en de commerciële sector waar elektromotoren verantwoordelijk voor zijn.

In Hoofdstuk 3 wordt algemeen inzicht gegeven in besparingspotentiëlen van enkelvoudige systemen. Met 'enkelvoudig' doelen we op bijv. één aangedreven pomp, compressor of ander apparaat. Eerst kijken we naar het besparingspotentieel wanneer alleen de verouderde motor wordt vervangen door een efficiëntere. Daarna volgt de additionele besparing wanneer tegelijkertijd het gehele aangedreven systeem wordt geoptimaliseerd.

In Hoofdstuk 4 wordt het besparingspotentieel bepaald voor het vervangen van het verouderde deel van het Nederlandse elektromotorenpark; het vervangen van alle IE0, IE1 en IE2 elektromotoren door efficiëntere. Eerst wordt gezocht naar een bepalingmethodiek. Kennis van de opbouw van het huidige park is cruciaal voor de berekening. Procentuele en absolute besparingspotentiëlen, uitgedrukt in TWh en PJ's worden geven, zowel voor de industrie, als voor de dienstensector.

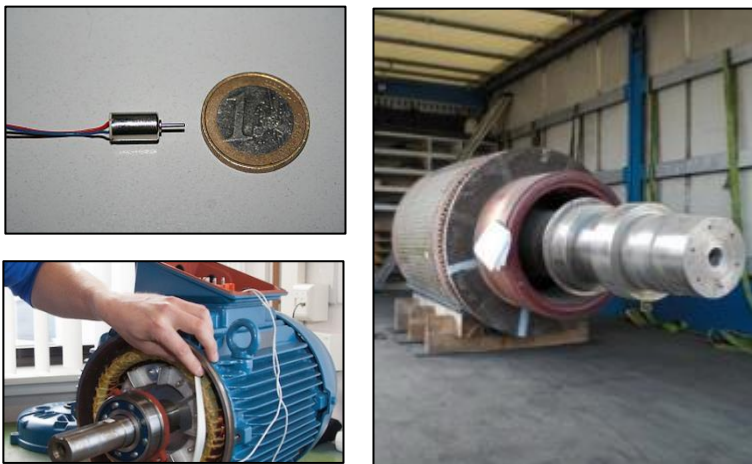
De kracht van de Green Deal is bedrijven te stimuleren niet alleen de verouderde elektromotor te vervangen, maar direct het gehele aangedreven systeem te optimaliseren. Hoofdstuk 5 berekent het nationale besparingspotentieel van deze systeembenadering en welk deel ervan wordt gedekt met de Green deal. Per sector en per type aandrijfsysteem (bijv. pompen, transportbanden), moet eerst bepaald worden van welke procentueel besparingspotentieel we uit willen gaan.

2

Introductie elektromotoren en de hiermee aangedreven systemen

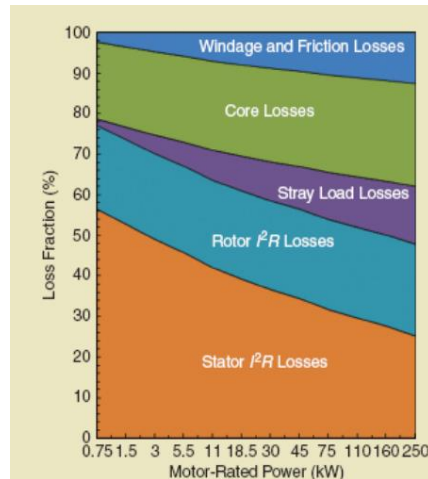
Dit hoofdstuk geeft een korte inleiding op elektromotoren, hun efficiëntie en de systemen die ze aandrijven. Ook wordt inzicht gegeven in het deel van het elektriciteitsverbruik binnen de industriële- en commerciële sector waar elektromotoren verantwoordelijk voor zijn.

2.1 Elektromotoren



Vrijwel alle toepassingen met draaiende en bewegende onderdelen in deze wereld worden aangedreven door een elektrische motor; kortweg een elektromotor. Dit vanaf de kleinste, vaak huishoudelijke toepassingen tot aan de grootste industriële apparaten; van de aangedreven dvd-speler tot aan de aangedreven pompsystemen in het drinkwatersysteem. Het is vanuit dit perspectief niet verrassend dat bijna de helft van het elektriciteitsverbruik in deze wereld een elektrische motor aandrijft. Ter vergelijking; 'slechts' 20% gaat naar verlichting, een toepassing die voor de meeste mensen veel zichtbaarder is, net als de besparingsmogelijkheden.

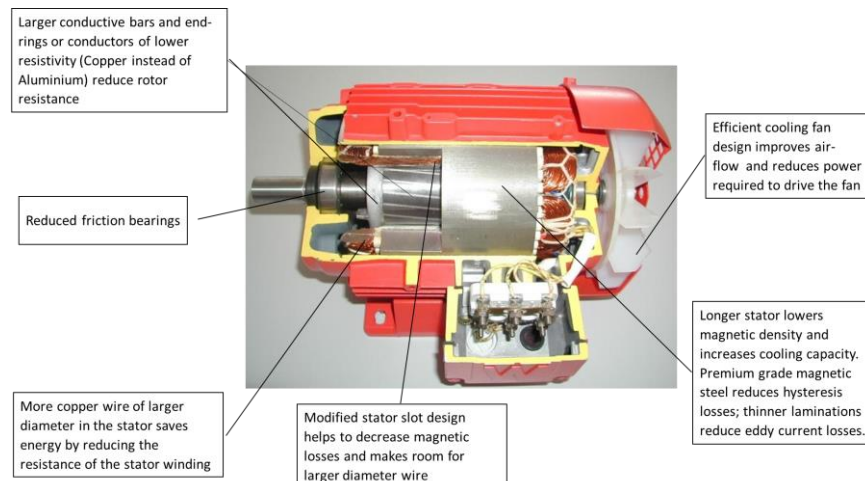
Een elektromotor is een relatief eenvoudig apparaat³ en in beginsel relatief eenvoudig efficiënter te maken. Zorg ervoor dat de elektrische en mechanische verliezen afnemen, en de motor heeft minder elektriciteit nodig om dezelfde hoeveelheid functionele mechanische arbeid te leveren. Hierdoor zal de motor minder elektriciteit omzetting naar warmte (afgevoerd via koelribben); de motor wordt dus minder heet, wat ten goede komt aan de behaalde efficiëntie.



De relatieve grootte van diverse verliesposten zijn afhankelijk van motorvermogen en wordt inzichtelijk gemaakt met de figuur links (Almeida, 2012). Deze figuur geldt voor asynchrone inductiemotoren, waar 80% van de mondiale voorraad (boven de 0,75 kWh) uit bestaat.

1. er is sprake van stroomverliezen in stator en rotor (stator I^2R en rotor I^2R losses)
2. er zijn verliezen in het magnetisch veld rondom stator en rotor (core losses)
3. er is sprake van wrijvingsverliezen voor de lagers (friction losses)
4. de koelende propeller ondervindt luchtweerstand (windage losses)
5. overige verliezen zijn samengevoegd tot 'stray load losses'

Figuur 3: Verbeteringen in het ontwerp van een inductiemotor voor een hogere efficiëntie (U4E, 2017)



Een elektromotor efficiënter maken kan bijvoorbeeld door (1) de hoeveelheid koper te vergroten (het aantal koperwindingen te vermeerderen en/of een dikkere koperdraad hiervoor te gebruiken), (2) gebruik van hogere kwaliteit staal in de rotor en (4) minder ruimte tussen de stator en rotor over te laten (Waide & Brunner, 2011). Een gegeven

3 [Dit](#) YouTube filmpje toont hoe een elektromotor gemaakt wordt en [dit](#) YouTube filmpje hoe een motor werkt.

moment kost het uiteraard meer creativiteit om de efficiëntie nog verder te doen toenemen⁴.

Motorvermogen

Motorvermogen wordt vaak ingedeeld naar drie categorieën, zie **Figuur 4**:

1. Kleine motoren, met een vermogen kleiner dan 0,75 kW, vaak al verwerkt in een bestaand apparaat, zoals een huishoudelijke mixer.
2. Middelgrote motoren, met een vermogen tussen 0,75 kW en 375 kW, deze staan veelal bij de industrie, maar ook binnen de dienstensector als onderdeel van de klimaatinstallatie.
3. Grote motoren met een vermogen boven 375 kW, tot bijv. 50 MW vaak 'on site' geïnstalleerd binnen de industrie.

Figuur 4: Onderscheid naar vermogen (Waide & Brunner, 2011)

Size electric motor	small	medium	large
% total stock in use	90%	10%	0.03%
% of electricity used	9%	68%	23%
Packed machine	yes		
Specific device		yes	
Stand alone		yes	yes
Special application			yes
Residential sector	yes		
Commercial sector		yes	
Industrial sector		yes	yes

De middelgrote motoren zijn energetisch gezien het meest interessant, ze nemen 'slechts' 10% van het elektromotorenpark in maar zijn wel verantwoordelijk voor bijna 70% van het totaal elektriciteitsverbruik van alle elektromotoren.

Motor efficiency class	International rating
Super premium	IE4
Premium	IE3
High	IE2
Standard	IE1
Below standard	IE0

Een elektromotor wordt internationaal voorzien van IE-klasse (op basis van de internationale standaard [IEC/EN 60034-30-1:2014](#)), welke de minimum efficiëntie aangeeft. IE1 wordt gezien als een elektromotor met een 'standaard efficiëntie'; de IE5 is 'zeer efficiënt' maar nog nauwelijks commercieel verkrijgbaar⁵.

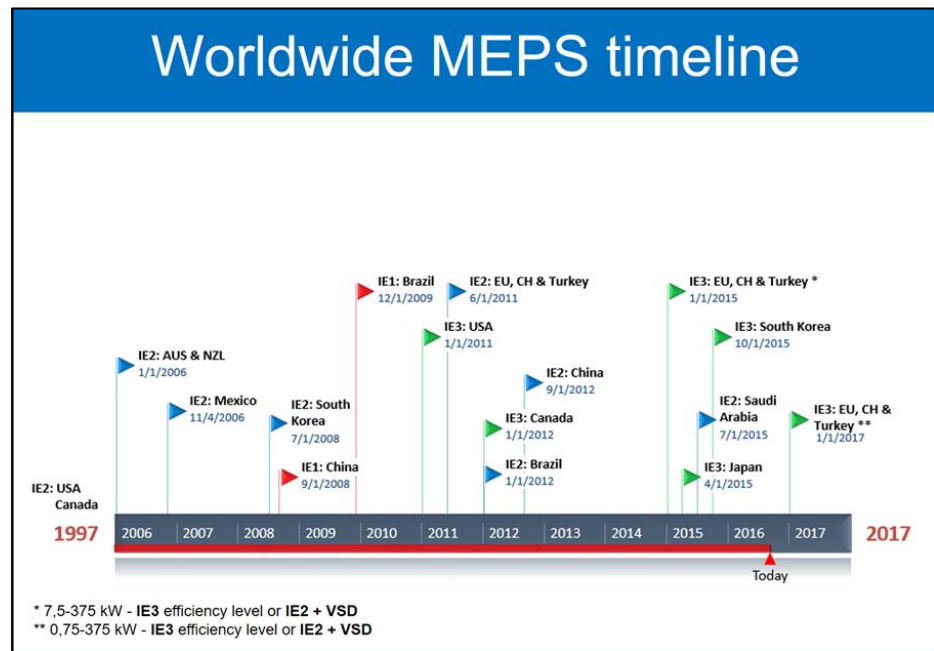
Een overheid kan wettelijke regels stellen welke efficiëntie-klasse minimaal geïmporteerd en lokaal geproduceerd mag worden. Dit kan bijvoorbeeld door het introduceren van een Minimum Energy Performance Standards (MEPS). Er kan hierbij gekozen worden eerst een bepaald segment (vermogen, toepassing) van een MEPS te voorzien, en dit later uit te breiden. **Figuur 5** toont voor een aantal landen het jaar van introductie en aanscherpingen van een MEPS voor elektromotoren. Amerika en Canada waren er in 1997 vroeg bij hebben de MEPS direct op het niveau van IE2 gezet, met een

4 Zo heeft een bedrijf een [ander koelsysteem](#) ontwikkeld voor de veel toegepaste inductiemotor waarmee de elektromotor 75% kleiner en lichter wordt, en een efficiëntie van 96% haalt.

5 De 'Permanent Magnet Motors' is een nieuwe ontwikkeling die het niveau van IE5 haalt; *'It is possible to find superefficient high-horsepower motors but, at this point, many of these are exotic designs that are practical for limited applications. Special motor designs may begin replacing induction motors as worldwide efficiency regulations grow ever-more stringent'* (MachineDesign, 2017)

aanscherping naar IE3 in 2011. In Bijlage A zal blijken dat dit een significant effect heeft gehad op het marktaandeel IE3 motoren.

Figuur 5: Geïntroduceerde en aangescherpte MEPS door de jaren heen (U4E, 2017)



In de EU is pas in 2011, als onderdeel van de Eco-design Directive, een MEPS op het niveau van IE2 geïntroduceerd. De huidige efficiëntie-verplichting in Europa ligt nu ook op IE3, zie **Figuur 6**⁶. Per 1 januari 2017 is deze uitgebreid naar kleinere motoren vanaf 0,75 kW. Merk op dat deze uitbreiding overeenkomt met de indeling naar vermogen van **Figuur 4**; 0,75 kW tot 375 kW zijn de ‘middelgrote elektromotoren’.

Figuur 6: Gefaseerde EU regelgeving elektromotoren (Uneto-VNI, 2011)

Fase 1: Vanaf 16 juni, 2011	Motoren moeten voldoen aan het IE2 efficiency niveau
Fase 2: Vanaf 1 Januari, 2015	Motoren met een nominaal vermogen van 7,5 tot 375 kW moeten voldoen aan het IE3-efficiëncyniveau óf aan het IE2-niveau indien voorzien van een frequentieomvormer
Fase 3: Vanaf 1 Januari, 2017	Motoren met een nominaal vermogen van 0,75 tot 375 kW moeten voldoen aan het IE3-efficiëncyniveau óf aan het IE2-niveau indien voorzien van een frequentieomvormer

Een IE4 elektromotor komt in aanmerking voor een EIA subsidie (RVO, 2016a):

Aandrijven

210601 [w]

HR-elektromotor

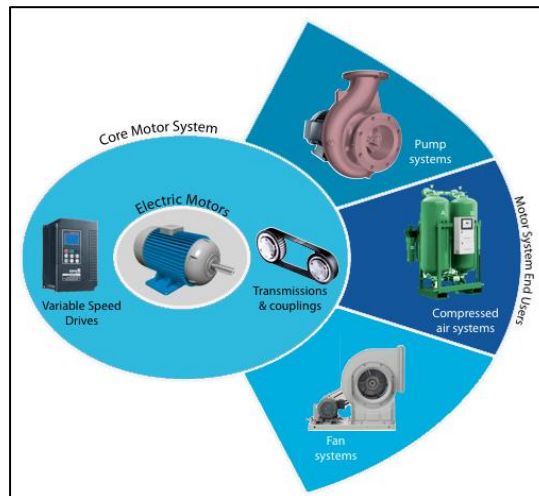
Bestaande uit: elektromotor met een nominaal vermogen kleiner dan of gelijk aan 375 kW, die voldoet aan de IE4 efficiency-klasse gemeten conform IEC60034-30-1:2014.

Alleen de elektromotor zelf komt voor Energie-investeringsaftrek in aanmerking.

6 Of IE2, maar dan voorzien van een frequentieomvormer. Met deze frequentieregelaar zijn relatief grote besparingen mogelijk voor aangedreven ‘stromingssystemen’; uitgelegd in paragraaf 2.2

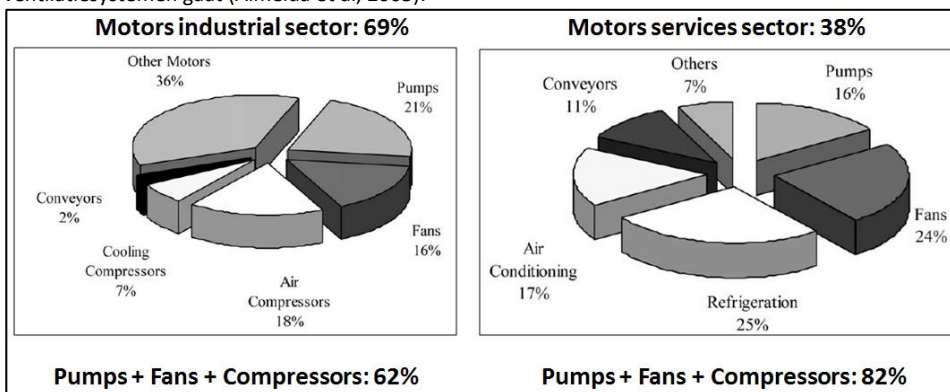
2.2 Aangedreven systemen met elektromotoren

Elektromotoren drijven apparaten aan; vaak aangeduid als een 'systeem'. Er is een ontelbare variatie aan systemen te bedenken welke aangedreven worden. Echter, een relatief groot deel van de systemen in de industrie en de dienstensector betreffen pomp-, compressor⁷- en ventilatiesystemen, zoals deze figuur weergeeft (IETD, 2015). Deze drie 'stromingssystemen' hebben overeenkomstige eigenschappen met betrekking tot besparingsopties. Alle drie komen ze bijvoorbeeld in



aanmerking voor controle van het debiet. Niet altijd vraagt het systeem het maximale debiet voor het verplaatsen van een vloeistof of een gas. In oude systemen wordt het gewenste debiet verkregen door het afknijpen van de vloeistof- of gasstroom; eenvoudig door na de elektromotor en bijv. de pomp, een kraan in het systeem te plaatsen. De elektromotor blijft echter op maximale toeren draaien; nutteloze pompenergie wordt omgezet in warmte. Dit is te voorkomen door het toerental van de elektromotor elektronisch te regelen met een 'Variable Speed Drive' (VSD), in het Nederlands een toerental- of frequentieregelaar. Een VSD regelt het toerental van de motor door de frequentie(Hz) en spanning (Volt) aan te passen. Juist bij stromingssystemen biedt toerentalregeling grote energetische voordelen⁸.

Figuur 7: Aandeel elektriciteitsverbruik geconsumeerd door elektromotoren binnen de industriële-, en commerciële sector EU⁹, gevolgd door het deel dat hiervan naar de dominante pomp-, compressor- en ventilatiesystemen gaat (Almeida et al, 2003).



Geschat wordt dat industrie binnen de EU bijna 70% van het totaal industrieel elektriciteitsverbruik door elektromotoren wordt verbruikt, en dat 62% hiervan de

⁷ Compressorsystemen binnen de industrie omvatten industriële toepassingen van pers- en luchtdruk, maar ook koel- en vriestoeppingen, zie ook de brochure 'Efficiënte Elektrische Aandrijvingen' (RVO, 2014a).

⁸ [Dit](#) YouTube filmpje toont op eenvoudige wijze de werking van een VSD.

⁹ Merk op dat dit overeenkomt met de *mondiale* percentages genoemd in paragraaf 1.1, afkomstig van (Waide & Brunner, 2011)

zojuist genoemde drie hoofdsystemen aandrijft (zie **Figuur 7**). Voor de dienstensector ligt het eerste percentage wat lager, maar het tweede wat hoger. De overige toepassingen hebben veelal betrekking op ‘mechanische verplaatsing’, zoals transportbanden en toepassingen in liften in de commerciële sector.

In (Almeida et al, 2003) wordt voor de dienstensector en voor diverse industriële subsectoren zowel kwantitatief en kwalitatief beschreven welke systemen aangedreven worden door elektromotoren. Deze informatie betreft de EU en is (deels in het Engels) opgenomen in Bijlage B.

2.3 Samenvatting

- Elektromotoren zijn verantwoordelijk voor 53% van het mondiale elektriciteitsverbruik.
- Elektromotoren zijn er in alle soorten en maten en draaien in elke sector. Geschat wordt dat zo’n 69% van het totaal *industriële* elektriciteitsverbruik door elektromotoren wordt verbruikt. Bij de *dienstensector* ligt dit percentage rond de 38%.
- Een elektromotor is een relatief eenvoudig apparaat en in beginsel ook relatief eenvoudig efficiënter te maken. Deze efficiëntie wordt weergegeven als een IE-klasse; IE1 wordt gezien als een elektromotor met een ‘standaard efficiëntie’; de IE5 is ‘zeer efficiënt’ maar nog nauwelijks commercieel verkrijgbaar.
- Vele elektromotoren drijven pomp-, compressor- en ventilatiesystemen aan. Deze drie ‘stromingssystemen’ hebben overeenkomstige eigenschappen met betrekking tot besparingsopties; er is een grote efficiëntieslag te maken door vervanging van verouderde systemen te combineren met een toerentalregeling¹⁰.
- Conform EU wetgeving, mag Nederland sinds 2015 in het segment van de ‘middelgrote elektromotoren’ enkel IE3 importeren en produceren. Uitzonderingen worden gemaakt voor IE2 elektromotoren die gecombineerd worden met een toerentalregeling. Wanneer gekozen wordt voor een IE4, kan de investeerder EIA subsidie aanvragen.

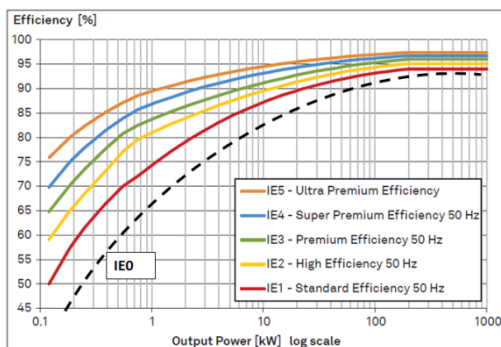
¹⁰ De brochure vermeld onder voetnoot 7 legt uit dat een VSD bij pomp- en ventilatiesystemen tot de grootste besparingen leidt (variabel koppel). Bij compressorsystemen is deze wat lager (constant koppel), maar economische gezien nog steeds interessant.

3

Algemeen inzicht in besparingspotentiëlen

In dit hoofdstuk evalueren we hoe het besparingspotentieel van een enkel verouderd elektrisch aangedreven systeem wordt bepaald. Het gaat dan om bijv. één elektromotor die een pomp, compressor of ander apparaat aandrijft. Eerst kijken we naar het besparingspotentieel wanneer enkel de verouderde elektromotor wordt vervangen. Daarna evalueren we de additionele besparing wanneer tegelijkertijd het gehele systeem wordt geoptimaliseerd.

3.1 Vervanging verouderde elektromotor



Er ligt min of meer een vaste relatie tussen vermogen en efficiëntie, bij een bepaalde belasting van de motor. De figuur links toont deze relatie bij volledige belasting (EMSA, 2014). In de loop der tijd zijn er efficiëntere motoren ontwikkeld, aangeduid met een hogere IE-klasse¹¹. Het is met deze figuur relatief eenvoudig om van te voren een schatting te maken van de

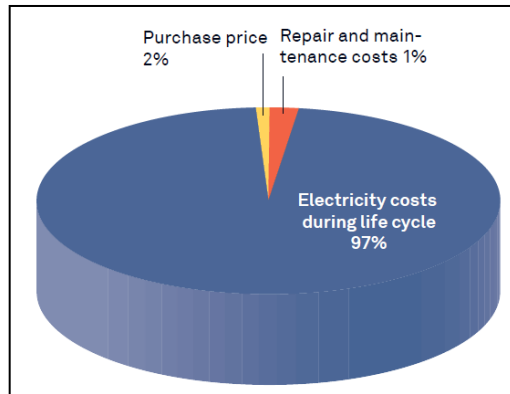
procentuele elektriciteitsbesparing, wanneer een oude motor wordt vervangen door een nieuwe, efficiëntere elektromotor. Het verschil in efficiëntie tussen kleinere motoren is groter dan tussen grotere. Als voorbeeld; een 1 kW IE1 motor vervangen door een IE3 motor, levert 13% elektriciteitsbesparing op. Voor een 10 kW motor is dit ongeveer 6%.

In het verleden werden elektromotoren standaard over-gedimensioneerd, om oververhitting te voorkomen. Een motor bereikt in deellast niet zijn maximale efficiëntie. De huidige generatie elektromotoren wordt veel minder heet, maar hier wordt bij de aanschaf vaak nog geen rekening mee gehouden. Men blijft dus over-

¹¹ De aanduiding 'IE0' in deze figuur is door ECN geïntroduceerd en representeert naast de sterk verouderde elektromotoren die tot de jaren 90 van de vorige eeuw mondiaal zijn geproduceerd, ook de vele goedkope, vaak merkloze elektromotoren die heden ten dage in bijv. China worden geproduceerd. Interessant is dat deze goedkopere elektromotoren vrijwel uitsluitend voor de Chinese exportmarkt bedoeld zijn; China heeft haar eigen MEPS op elektromotoren sinds 2012 op het niveau van IE2 staan en is voornemens deze aan te scherpen tot IE3.

dimensioneren waardoor een berekend besparingspotentieel niet altijd gerealiseerd wordt. Met een gedegen analyse (energy audit) moet bepaald worden wat het optimaal benodigde vermogen is.

Wanneer ook het aantal draaiuren van de motor bekend is, is het daarna eenvoudig de besparing uit te drukken in bespaarde kilowatturen. Aangezien het elektriciteitsstarief bekend zal zijn, is ook de financiële besparing op de elektriciteitsrekening bekend. Door dit te vergelijken met de (meer)investeringskosten, is een terugverdientijd te bepalen.

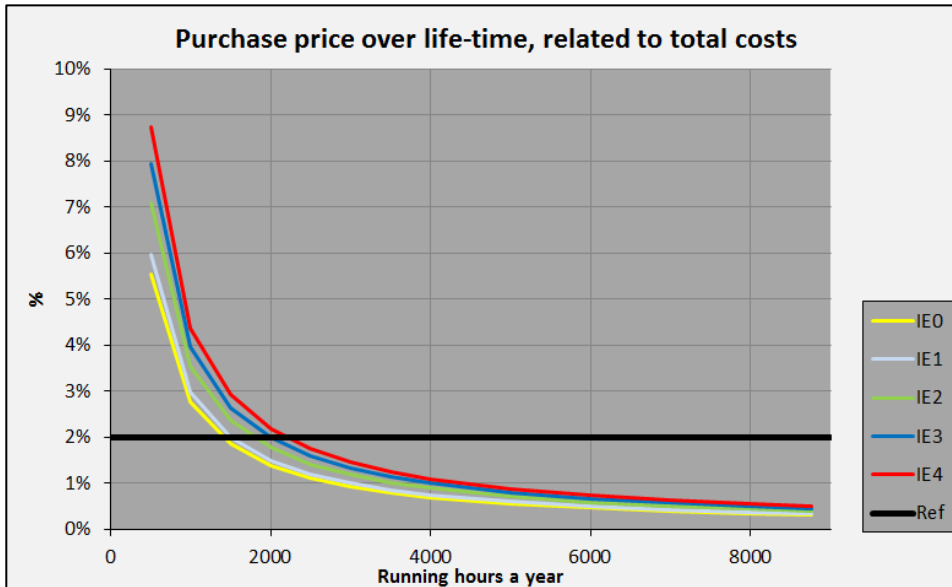


Deze terugverdientijd is dus afhankelijk van het aantal draaiuren. In de industrie draaien vele motoren het gehele jaar door en is een efficiëntere, maar duurdere motor vaak binnen slechts een paar maanden terugverdiend. Als gekeken wordt naar de gehele levensduur van de elektromotor, wat bij een aankoop niet vaak gedaan wordt, blijkt dat het investeringsbedrag slechts zo'n 2% van de totale kosten uitmaakt (EMSA, 2014).

Voor het eerder vermelde project in Indonesië is een Exceltool ontwikkeld waarmee dit percentage in vele verschillende situaties nauwkeurig berekend kan worden. Deze tool hebben we voor deze Green Deal voorzien van een elektriciteitsprijs van 8 cent per kWh¹². De zojuist genoemde 2% wordt voor een sterk verouderde IE0 elektromotor bereikt na 1500 draaiuren per jaar, en voor de duurste IE4 elektromotor na 2100 draaiuren per jaar; zie **Figuur 8**. De IE1, IE2 en IE3, nemen toe in aanschafprijs en liggen in deze volgorde hiertussen. Noot dat dit aantal draaiuren al snel gehaald wordt, zeker met elektromotoren in de industrie. Een belangrijke constatering is dat de resultaten voor de onderscheiden IE-klassen niet veel van elkaar verschillen.

12 Deze tool kan gedownload worden via (Sipma, 2015). Het elektriciteitsstarief van 8 cent/kWh ligt tussen het industrieel grootverbruikerstarief en het tarief voor een groot kantoor in (RVO, 2014b).

Figuur 8: Aanschafkosten, relatief t.o.v. totale kosten, over de gehele levensduur van een elektromotor.



Dus IE2, IE3 of IE4?

Stel je wilt een verouderde IE1 elektromotor vervangen. Welke keus maak je? Een IE3 is wat duurder dan een IE2, maar bespaart meer elektriciteit. Hetzelfde geldt voor een IE4 t.o.v. een IE3. Welke verdient zich nu eerder terug? Het antwoord op deze vraag is *niet* afhankelijk van het elektriciteitsstarief, ook niet van het aantal draaiuren per jaar, maar enkel van de aanschafprijs en de efficiëntie. **Figuur 9** is met de in voetnoot 12 genoemde Excelfile gemaakt en toont welke IE-klasse de kortste terugverdientijd heeft bij vervanging van een IE1 elektromotor, afhankelijk van motorvermogen en aantal draaiuren per jaar. Voor een aantal vermogensklassen, levert een IE3 of een IE4 elektromotor een kortere terugverdientijd ten opzichte van een IE2 elektromotor¹³.

Wanneer we een elektriciteitsstarief meenemen, kunnen we een eenvoudige terugverdientijd bepalen, we gaan wederom uit van 8 cent per kWh. Achter de cellen van **Figuur 9**, zitten terugverdientijden die oplopen van 1 maand (rechtsonder) tot 7,7 jaar, ergens linksboven. Belangrijker is de constatering dat terugverdientijden van de onderscheiden IE-klassen voor identieke situaties elkaar weinig ontlopen.

Wanneer zowel een IE3 als een IE4 resulteren in een acceptabele terugverdientijd, is het op de langere termijn kosteneffectieve voor de IE4 te kiezen, ook al zou de IE3 een aantal maanden eerder terugverdiend zijn. We vergelijken dan eigenlijk een return on investment met de eenvoudige terugverdientijd. Hier speelt **Figuur 10** op in. Deze figuur geeft de hoogste IE-klasse welke voldoet aan de eis dat een motor zich in 2 jaar moet terugverdienen. Daar waar 'IE1' staat, is geen van de betere elektromotoren binnen 2 jaar terugverdiend. Uit de vele rode 'IE4' cellen volgt dat dit meestal de meest kosteneffectieve keuze is¹⁴.

13 De resultaten zijn gebaseerd op efficiëntie en aanschafprijs, opgenomen in een brochure van een grote internationale leverancier van elektromotoren. Dit betekent uiteraard dat resultaten kunnen verschuiven wanneer met andere input wordt gerekend. Het gaat hier echter eerder om het verschaffen van inzicht dan om exacte resultaten te geven.

14 De IE4 is nog niet altijd in grote aantallen voorradig.

Figuur 9: Elektromotor met kortste terugverdientijd bij vervanging van een verouderde IE1, afhankelijk

kW - run hours	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	8760
0,37	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
0,55	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
0,75	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
1,1	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
1,5	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
2,2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
3,0	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
3,7	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
4,0	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
5,5	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
7,5	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
9,0	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3
11,0	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
15,0	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3
18,5	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3
22	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3
30	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
37	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
45	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
55	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
75	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3
90	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
110	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
132	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3	IE3
160	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
200	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
250	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
280	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
315	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
330	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
355	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
375	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
400	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
450	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
500	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
560	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
930	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
5000	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2

Figuur 10: Elektromotor met kortste terugverdientijd bij vervanging van een verouderde IE1

kW - run hours	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	8760
0,37	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
0,55	IE1	IE1	IE1	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
0,75	IE1	IE1	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
1,1	IE1	IE1	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
1,5	IE1	IE1	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
2,2	IE1	IE1	IE1	IE2	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
3,0	IE1	IE1	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
3,7	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
4,0	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
5,5	IE1	IE1	IE1	IE1	IE2	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
7,5	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
9,0	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
11,0	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE2	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
15,0	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
18,5	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
22	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
30	IE1	IE1	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
37	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
45	IE1	IE1	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
55	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE3	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
75	IE1	IE1	IE1	IE1	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
90	IE1	IE1	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
110	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
132	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
160	IE1	IE2	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
200	IE1	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
250	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
280	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
315	IE2	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
330	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
355	IE1	IE2	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
375	IE1	IE2	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
400	IE1	IE2	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
450	IE1	IE2	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
500	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
560	IE1	IE3	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
930	IE2	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4
5000	IE2	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4	IE4

Vervangingsmoment en terugverdientijd

Elektromotoren kunnen op diverse momenten worden vervangen; vóór-, aan het eind-, of na hun opgegeven technische levensduur. Bij het berekenen van de terugverdientijd wordt in de eerste situatie meestal gerekend met de *volledige* investeringskosten. In de andere twee situaties kan gerekend worden met enkel de *meer*-investering van een efficiëntere elektromotor. Dit is ook zo toegepast in voorgaande figuren. Omdat motoren vaak erg oud zijn (zie Bijlage A), komen de laatste twee situaties vaker voor.

Wanneer de motor nog niet aan het eind van zijn technische levensduur is, en gerekend wordt met de *volledige* investeringskosten, kan het nog steeds kosteneffectief zijn om deze te vervangen, mits de motor veel draaiuren maakt. Uiteraard is dit ook afhankelijk van het elektriciteitsstarief; een audit zou dit moeten uitwijzen. Een korte analyse met eerder genoemd elektriciteitsstarief wijst uit dat voor vele vermogensklassen geldt dat een tussentijdse plaatsing van een IE4 elektromotoren zich nog steeds binnen 2 jaar terugverdient, mits deze minimaal 6000 draaiuren per jaar maakt.

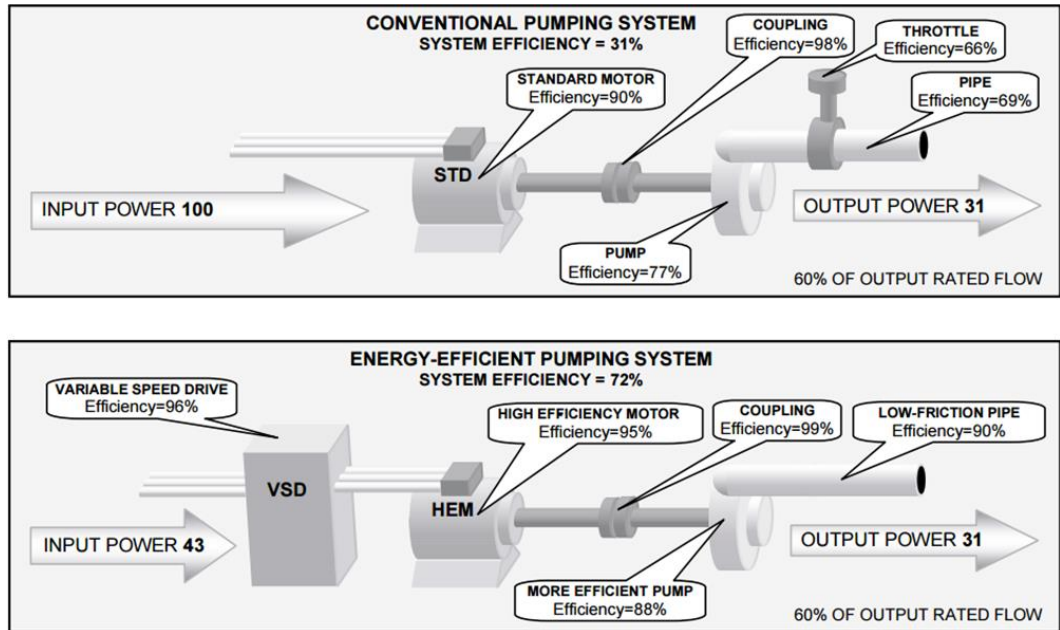
3.2 Extra besparingspotentieel door 'systembenadering'

Stel dat de elektromotor een pompsysteem aandrijft. Wat zou dan het besparingspotentieel zijn wanneer dit gehele systeem bij de analyse wordt betrokken? Dit is een stuk lastiger te voorspellen; we kunnen nu geen gebruik maken van een enkel theoretische plaatje dat de efficiëntie voor en na een retrofit aangeeft. Er zal nu een gedegen energy audit uitgevoerd moeten worden¹⁵. Het voorbeeld in Figuur 11: geeft illustratief weer wat dit voor een pompsysteem zou kunnen betekenen. Je kunt uitrekenen dat door het vervangen van de elektromotor alleen, 5,3% op de elektriciteitsrekening bespaard wordt (25 kW; IE1 vervangen door IE4). Wanneer het gehele systeem wordt geoptimaliseerd, is dit 57%.

Het is goed voor te stellen dan het gehele leidingnetwerk vervangen wat te veel van het goede is. Wanneer we dit achterwege laten, en enkel focussen op de elektromotor, pomp, de aandrijving hiertussen, en de VSD, besparen we 40% op de elektriciteitsrekening.

¹⁵ De ene audit is de andere niet, onderscheiden kunnen worden: level 0_benchmarking; level 1_walk-through audit; level 2_detailed energy audit; level 3_investment-grade audit (PNNL, 2016). Een investment-grade audit wordt omschreven als '*a detailed analysis of capital-intensive modifications focusing on potential costly Energy Conservation Opportunities (ECOs), requiring rigorous engineering study*'. Nederlandse bedrijven werken vaak met ISO 50002 gerelateerde audits, welke overeenkomt met een investment-grade audit (ISO, 2016).

Figuur 11: Maximale retrofit van een pompsysteem (Almeida et al, 2003)



Beschikbare subsidies

Het voorafgaand onderzoek naar de besparingsmogelijkheden, dus de energy audit, komt in Nederland in aanmerking voor EIA subsidie (RVO, 2016a), mits dit de methodiek van de EU Motor Challenge Programma volgt¹⁶ en/of een ‘investment grade’ audit betreft (zie voetnoot 15). Dit geldt zowel voor de auditkosten als voor het vervangen van de oude motor. Er zijn ook subsidiemogelijkheden voor de VSD en een aantal aangedreven systemen (Dijk, 2013).

b. Actieplan voor elektromotoren

U kunt de kosten voor het laten opstellen van een actieplan voor elektromotoren bij uw EIA-aanvraag meenemen. Het actieplan voor elektromotoren wordt vastgelegd in een adviesrapport. Dit adviesrapport met actieplan moet uitgewerkt zijn volgens het EU Motor Challenge Programme.

Resultaten eerste fase Green Deal

De Green Deal welke we in dit onderzoek doorrekenen heeft de resultaten van de eerste fase van de Green Deal Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen vastgelegd in (Werkhoven et al, 2016a; Werkhoven et al, 2016b). Uit additioneel ontvangen informatie (Werkhoven, 2016b) volgt dat de gerealiseerde gemiddelde besparing voor 18 afgeronde projecten binnen de industriële sector uitkomt op 13%. De bandbreedte is met 6% tot 40% groot.

De rapportage geeft de volgende aanvullende informatie:

- In de businesscases ligt het zwaartepunt op het toepassen van hoog efficiënte motoren en het verbeteren van de regeling van de aandrijving (toepassen van

¹⁶ ‘The Motor Challenge Programme is a European Commission voluntary programme (launched in February 2003) through which industrial companies are aided in improving the energy efficiency of their Motor Driven Systems’. (EU JRC, 2016). Het programma is in 2009 afgerond, maar de methodiek is nog toepasbaar.

frequentieregelaar), en minder op overbrenging, efficiënte applicaties en een integrale 'systeembenadering'.

- Eindgebruikers hebben een voorkeur om 'klein' te beginnen, en bij gebleken succes op te schalen, te herhalen en uit te breiden naar meer aandrijfsystemen.

Barrières

Voorgaande heeft een relatie met barrières die in diverse rapportages benoemd worden, o.a. in (Almeida et al, 2003; GIZ, 2014; Keulenaar et al, 2004; Sipma et al, 2015; Waide & Brunner, 2011). Vaak zijn deze algemeen geldend voor investeringen in energie-efficiëntie. Gericht op de EU geven deze bronnen o.a. de volgende barrières:

Major barriers

1. *Pay-back time is too long due to low electricity prices*
2. *Reluctance to change a working process*
3. *Split budgets*
4. *Complexity of the motor systems (mechanical and electrical components)*
5. *The lack of expertise to optimize the system (within industry, factory technical staff).*

Medium barriers

6. *Not all parties in the supply chain are motivated*
7. *Lack of correct definitions of motor system efficiency*
8. *Oversizing due to lack of knowledge of mechanical characteristics of load*
9. *Lack of management time.*

Moderate barriers

10. *Shortage of capital*
11. *Other functional specifications conflict with energy efficiency.*

Deze barrières lijken algemeen geldend te zijn, ongeacht of het een ontwikkelingsland, een opkomende economie of Nederland betreft. Om deze barrières op te heffen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Regulation, Information and education, Financial support, Environmental standards, Procurement & life cycle costing.

De eerste aanbeveling, 'regulation', is direct gekoppeld aan de Europese MEPS regelgeving. De EIA behoort in principe tot 'financial support', maar in de praktijk wordt, vanwege onwetendheid, een IE4 weinig opgevoerd. De Green Deal speelt hier op in, en probeert middels bewustwording deze aanbevelingen mee te nemen richting bedrijven.

3.3 Samenvatting

Vervanging verouderde elektromotor

Wanneer een verouderde elektromotor wordt vervangen door een efficiëntere, is redelijk eenvoudig vooraf te bepalen welke efficiëntieverbetering zal worden gerealiseerd. De terugverdientijd kan hiermee goed worden ingeschat. Wel is het noodzakelijk met een gedegen energy audit het optimaal benodigde vermogen te bepalen, om over-dimensioneren te voorkomen. In de industrie draaien vele motoren het gehele jaar door en is een efficiëntere, maar duurdere, motor vaak binnen slechts een paar maanden terugverdiend. Anders geredeneerd; als gekeken wordt naar de gehele levensduur van de elektromotor, blijkt dat het investeringsbedrag slechts zo'n 2% van de totale kosten uitmaakt.

De aanschafprijs van een IE1 loopt op richting een efficiëntere IE4, maar niet drastisch. Wanneer een IE1 moet worden vervangen, zijn er situaties te identificeren waarbij de terugverdientijd van een IE4 altijd korter is dan die van een IE2. Terugverdientijden liggen echter sowieso dicht bij elkaar. Wanneer de industrie een terugverdientijd van 2 jaar accepteert, is in veel situaties een IE4 te verkiezen boven een IE3; de return on investment zal vaak gunstiger zijn.

Extra besparingspotentieel 'systeembenadering'

Stel dat een elektromotor een pompsysteem aandrijft. Wat zou het besparingspotentieel zijn wanneer dit gehele systeem bij de analyse wordt betrokken? Dit is een stuk lastiger te voorspellen; er zal nu een gedegen energy audit uitgevoerd moeten worden. Het besef dat een systeembenadering een veel groter potentieel herbergt dan enkel de motor te vervangen is belangrijk. Dit kan voor complete retrofits oplopen tot een factor 10 meer besparing. Bijvoorbeeld 5,5 % besparing wanneer enkel een elektromotor wordt vervangen, oplopende tot meer dan 55% wanneer een geheel pompsysteem wordt geoptimaliseerd. De bijdrage van de VSD (toerentalregelaar) aan deze besparing is vaak het grootst. Voor niet-stromingssystemen ligt het potentieel vaak wat lager. In de praktijk is de bandbreedte dus groot wanneer resultaten met elkaar worden vergeleken. Bovendien gaat niet ieder bedrijf even ver; er zijn diverse barrières te identificeren waarom een bedrijf wel of niet voor een volledige systeembenadering gaat.

In het volgende hoofdstuk benutten we de opgedane kennis om het besparingspotentieel van een nationaal park aan elektrisch aangedreven systemen te bepalen.

4

Besparingspotentieel voor het Nederlandse elektromotorenpark

In het vorige hoofdstuk hebben we in de eerste paragraaf gekeken naar het besparingspotentieel wanneer één verouderde elektromotor wordt vervangen door een efficiënter exemplaar. In dit hoofdstuk evalueren we het besparingspotentieel van het gehele Nederlandse elektromotorenpark, wanneer alle IE0, IE1 en IE2 elektromotoren worden vervangen door efficiëntere exemplaren.

4.1 Een lastige berekeningsstrategie

Het besparingspotentieel berekenen voor het vervangen van één enkele verouderde elektromotor door een efficiënter exemplaar was volgens paragraaf 3.1 eenvoudig. Het besparingspotentieel berekenen voor het vervangen van *alle* verouderde motoren binnen een land is een grotere uitdaging. Eerst moet bekend worden wat de basissituatie is; hoe is het elektromotorenpark op dit moment opgebouwd naar IE-klassen en vermogens? Daarna kan bepaald worden welk besparingspotentieel gerealiseerd wordt wanneer een MEPS op een bepaald IE-niveau wordt geïntroduceerd of aangescherpt. Deze inschatting kan zowel top-down als bottom-up uitgevoerd worden; of een combinatie hiervan zijn. Voor de onderzoekspopulatie kan gezocht worden naar de volgende aspecten¹⁷:

1. Bottom-up: de opbouw naar vermogens (motorgrootte) en IE-klassen, en de draaiuren van de motoren. Met een representatieve steekproef kan dit via enquêtes en/of (al uitgevoerde) audits bepaald worden. Hiermee kan het huidige verbruik van elektromotoren berekend worden (de baseline), en een procentueel en absoluut besparingspotentieel, uitgaande van het door te rekenen scenario. Dit scenario betreft de introductie of aanscherping van een MEPS op een bepaald IE-niveau. Investeringskosten van elektromotoren zijn eenvoudig te vinden; wanneer

¹⁷ Noot dat de methoden die beschreven worden gelijkenis vertonen met het eenvoudige voorbeeld van paragraaf 3.1, maar dat nu bij de berekening uit wordt gegaan van geaggregeerde en gemiddelde inputgegevens. De methode wordt ook aangehaald in de twee eerder genoemde internationale guidelines (EMSA, 2014; UNEP-GEF, 2017).

er ook inzicht is in gemiddelde of gesegmenteerde elektriciteitsstarieven, kan de gemiddelde terugverdientijd bepaald worden.

Het analyseren van importgegevens van elektromotoren kan een belangrijk aanvullend inzicht opleveren voor het eerste twee aspect van het vorige punt; de opbouw naar vermogens. Import data zegt ook wat over het totaal aantal motoren dat in een land draait. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met het aandeel import en lokale productie. ECN heeft op deze wijze de opbouw naar vermogens in Indonesië bepaald (Sipma et al, 2015).

2. Top-down: wanneer het elektriciteitsverbruik bekend is van de onderzoekspopulatie, bijv. van alle industriële bedrijven, en dit wordt gecombineerd met het procentuele besparingspotentieel dat voortkwam uit de bottom-up benadering, dan krijgen we het absolute besparingspotentieel van deze populatie.

Aanbeveling: inventariseer het Nederlandse elektromotorenpark naar IE-klasse, bouwjaar en aangedreven systeem.

De bottom-up methoden zijn erg tijdrovend. De meeste landen, inclusief Nederland, hebben de opbouw naar vermogen (motorgrootte) en IE-klassen niet op de plank liggen. Sterker nog, slechts een enkel land heeft hier onderzoek naar gedaan. Een aantal landen heeft op grond van een *expert judgement* een inschatting gemaakt van de opbouw van het elektromotorenpark, waar uiteindelijk een inschatting voor een besparingspotentieel uit voortkomt.

4.2 Voorbeelden vanuit de literatuur

In deze paragraaf evalueren we enkele studies naar de opbouw van het elektromotorenpark en het berekende besparingspotentieel.

Besparingspotentieel EU in 2003

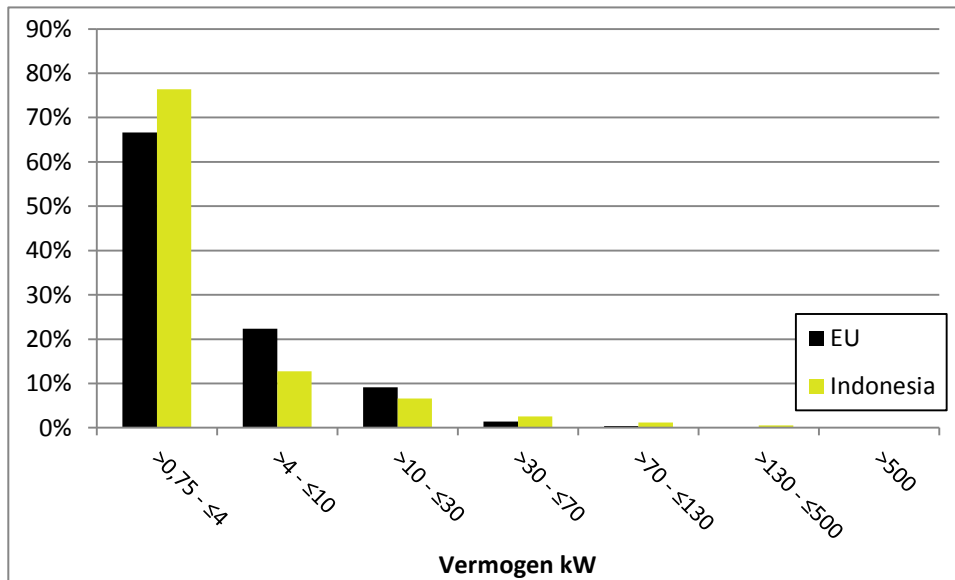
Met een onderscheid naar de industriële- en commerciële sector in de EU, geeft (Almeida et al, 2003) een besparingspotentieel van 4,2% en 5,8% voor de introductie van efficiëntere motoren in 2003, met een gewogen gemiddelde van 4,6 %. Deze potentiëlen zijn bepaald bij een maximale terugverdientijd van 3 jaar. Uit persoonlijke communicatie met Almeida volgt dat de baseline toen bestond uit vrijwel enkel IE0 elektromotoren, met IE2 als einddoel. Dit is inclusief elektromotoren met een vermogen kleiner dan 0,75kW¹⁸. Deze studie is zo veel mogelijk uitgegaan van de in de vorige paragraaf beschreven bottom-up strategie.

In (Almeida et al, 2003) wordt een inventarisatie gegeven van het elektromotorenpark in Europa, met een onderscheid naar de industriële- en commerciële sector. Deze data is bewerkt en wordt weergegeven in **Figuur 12** voor elektromotoren vanaf 0,75 kW. Hieruit volgt dat de kleinste motoren domineren, gevolgd door een sterke afname van het aandeel aan grotere motoren. Hetzelfde hebben we in het Indonesië project geconstateerd, uitgaande van importgegevens van (JICA & PT.EMI, 2009). Ook uit de

¹⁸ Maar het elektriciteitsverbruik van deze groep elektronmotoren is relatief klein binnen de industrie en dienstensector (zie **Figuur 15**, paragraaf 4.5).

verderop besproken Turkse analyse volgt min of meer hetzelfde beeld, alhoewel niet geheel vergelijkbaar aangezien die analyse start bij 7,5kWh.

Figuur 12: Aandeel aantal geïnstalleerde elektromotoren naar vermogen, industriële en commerciële sector EU en geïmporteerde elektromotoren Indonesië. Bewerkte data (Almeida et al, 2003; JICA & PT.EMI, 2009).



Besparingspotentieel Indonesië 2015

In (Sipma et al, 2015) hebben we voor Indonesië middels *expert judgements* een inschatting gemaakt van de opbouw van het elektromotorenpark naar IE-klasse, zoals weergegeven in **Tabel 1**. IE0 en IE1 domineren samen met 93%.

Tabel 1: Aandeel elektromotoren naar IE-klassen, Indonesië (Sipma et al, 2015)¹⁹

IE class	% market share 0,75-45kW	% market share >45kW	% Total market share >0,75kW
IE4	0,3%	0,8%	0,3%
IE3	2%	5%	2%
IE2	4%	10%	4%
IE1	57%	68%	58%
IE0	36%	17%	35%
Total	100%	100%	100%

De baseline in Indonesië ligt hiermee qua efficiëntie in 2015 wat hoger dan de baseline in de EU in 2003 volgens (Almeida et al, 2003). Een MEPS naar het niveau van IE2 levert dan ook minder op, zoals weergegeven in de volgende tabel.

¹⁹ Omdat er veel meer kleinere motoren in omloop zijn dan grotere (zie **Figuur 12**), liggen de percentages voor het totaal dicht bij de percentages die gelden voor de kleinere motoren. Motoren met een vermogen beneden 0,75kW zijn niet meegenomen in de analyse.

Tabel 2: Besparingspotentieel introductie MEPS Indonesië

Land en MEPS bereik	MEPS IE1	MEPS IE2	MEPS IE3	MEPS IE4
Indonesië (MEPS vanaf 0,75 kW)	0,8%	3,1%	4,6%	5,4%

Besparingspotentieel voor drie onderscheiden marktsituaties

Tabel 3 geeft het besparingspotentieel voor de introductie van een MEPS op het niveau van IE3 voor situaties van landen met een 'laag', 'medium' en 'hoog' marktaandeel voor IE0+IE1+IE2 (McKane & Hasanbeige, 2010). Uit de analyse volgt een besparingspotentieel van 3% voor de EU.

Tabel 3: Besparingspotentieel introductie MEPS op IE3 in een land met een hoge, medium en lage baseline

	Laag marktaandeel IE0+IE1+IE2	Medium marktaandeel IE0+IE1+IE2	Hoog marktaandeel IE0+IE1+IE2
Voorbeelden van landen	US, Canada	EU	Thailand, Vietnam and Brazil
MEPS IE3 elektromotor bij pomp- en ventilatiesystemen	1%	3%	5%

Besparingspotentieel voor Nederland voor systemen vanaf 10 kW

In (Jong, 2012) is voor 'Industrial Electric Motor Systems'²⁰ een inschatting gemaakt voor de opbouw naar IE-klassen. Uitgangspunten en aannames zijn voornamelijk gegenereerd vanuit interviews met experts in dit werkveld. Uit deze rapportage kunnen we afleiden dat in Nederland verreweg het grootste deel van de populatie uit IE0, IE1 of IE2 motoren bestaat, dit segment neemt 95% van de voorraad in beslag²¹.

Tabel 4: Aandeel elektromotoren naar IE-klassen, systemen vanaf 10 kW, Nederland, *expert judgements*, (Jong, 2012), bewerkt

IE class	Middelgrote systemen	Grote systemen	Zeere grote systemen	Rekenkundig gemiddelde
IE4	0.4%	0.8%	0.8%	0.7%
IE3	2%	3%	7%	4%
IE0+IE1+IE2	98%	96%	92%	95%
Total	100%	100%	100%	100%

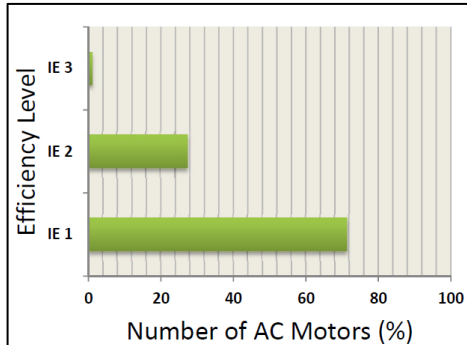
Deze IE-klassen worden niet verder opgedeeld, maar de rapportage vermeldt in kwalitatieve zin: *'The current motor inventory of the Dutch industry is mainly formed by motors meeting no efficiency class or efficiency class IE1 and to lesser extent IE2'*.

20 In deze rapportage uit 2012 liggen de systeemgrenzen rond de industrie. In de huidige Green Deal zijn de systeemgrenzen breder gekozen.

21 De studie gaat er in principe van uit dat er (als afgerond percentage?) geen IE4 is geïnstalleerd. Dit is hier met een fractie opgehoogd, uitgaande van schattingen in Indonesië bij grote internationale bedrijven, zoals in de gas- en aardolie-industrie.

Bewerkte data van (Jong, 2012) levert voor Nederland een economische haalbaar besparingspotentieel op van 2,3% wanneer elektromotoren van pomp-, compressor- en ventilatiesystemen groter dan 10 kW in de industrie worden vervangen door een combinatie van IE3 of IE4²². Omdat nu de kleinere systemen *niet* zijn meegenomen, waar het verschil in efficiëntie juist groter is, ligt dit percentage wat lager.

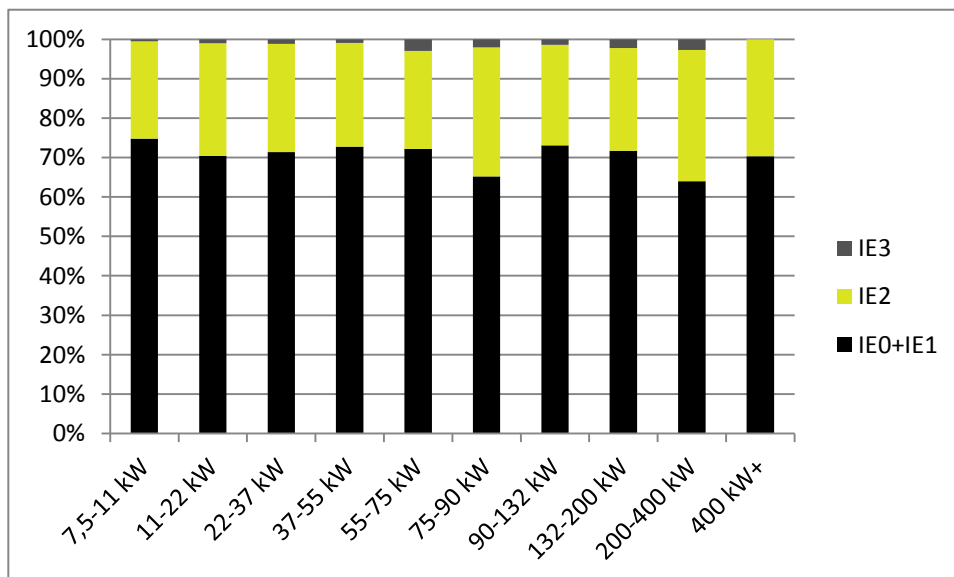
Opbouw naar IE-classes in Turkije in 2016



Turkije heeft in 2016 een inventarisatie gemaakt van 95.000 elektromotoren, groter dan 7,5 kW, aanwezig in de 887 grootste bedrijven (Mete, 2016). Dit is waarschijnlijk de enige inventarisatie van deze omvang in de wereld. Hiermee kon geconcludeerd worden dat er ruim 4,3 miljoen elektromotoren in Turkije draaien, waarvan de meesten (18%) binnen de voedingssector. Gemiddeld gezien werden

elektromotoren over hun levensduur 2,7 maal opnieuw gewikkeld, maken ze 5.456 draaiuren per jaar, op 78% van hun maximale vermogen. En inderdaad, vele drijven pompsystemen (26%) en ventilatoren (25%) aan. Enigszins afwijkend van literatuurbronnen lijkt dat compressoren minder dominant aanwezig zijn (4%); in plaats daarvan zijn er relatief veel transportsystemen (11%). Deze percentages betreffen echter het *aantal* motoren, niet het aandeel elektriciteitsverbruik dat ze vertegenwoordigen. Van de voorraad bestaat 8% uit IE0²³ en 63% uit IE1; bij elkaar 71%. IE2 neemt 28% van de voorraad in en slechts 1% bestaat uit IE3.

Figuur 13: De opbouw van IE-classes binnen een vermogensrange voor Turkije (Mete, 2016).



De opbouw naar IE-classes binnen een vermogensrange is redelijk continue, zoals weergegeven door **Figuur 13**. Op het moment loopt er een vergelijkbare studie in de

22 Waarbij keuzes zijn gemaakt voor welke klasse in een bepaalde situatie kosteneffectiever is.

23 Dit is inclusief motoren die geen informatie bevatten en daarom als IE0 worden aangeduid.

US, maar daar worden ca. 30.000 motoren opgenomen als steekproef, om te vertalen naar US-breed.

4.3 Aannname elektromotorenpark Nederland 2016 naar vermogen en IE-klassen

Uit voorgaande literatuurstudies volgt de constatering dat voor deze regio's geldt dat:

- IE0+IE1 dominant aanwezig zijn,
- IE3+IE4 nog weinig tot zeer weinig voorkomen,
- de opbouw naar motorvermogen overeenkomsten heeft,
- het besparingspotentieel voor een MEPS hierdoor relatief dicht bij elkaar liggen,
- het belangrijk is dat bij dit besparingspotentieel wordt aangegeven welke vermogensrange het betreft.

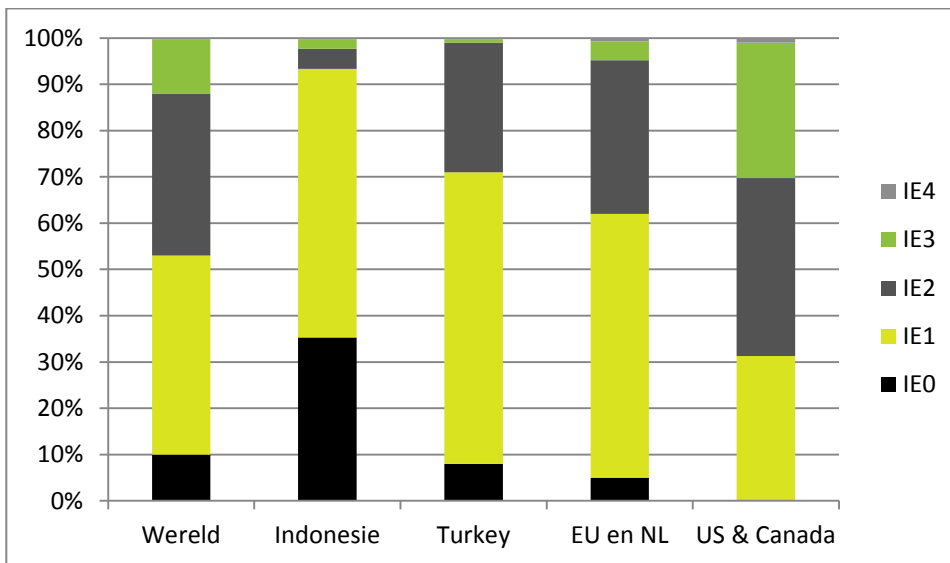
We denken dat deze situatie in vele andere geïndustrialiseerd landen, zowel binnen als buiten Europa, niet anders is. We denken dat IE0 en IE1 in de meeste landen verreweg het grootste aandeel vormt binnen het elektromotorenpark; waarbij IE1 weer domineert. Dit uitgangspunt is recentelijk ook gekozen in de guideline van (UNEP-GEF, 2017) voor ontwikkelingslanden en opkomende economieën:

'Can the average motor efficiency levels be estimated reliably with respect to category? If not, the worst case of (sub) IE1 efficiency levels could safely be assumed for unregulated markets.'

Op zich is dit ook verklaarbaar; in de praktijk vernieuwt het elektromotorenpark zich maar erg langzaam. Dit komt mede doordat deze motoren relatief stabiele apparaten zijn en zodoende lang meegaan. Een tweede reden is dat elektromotoren opgelapt worden door ze opnieuw te wikkelen. Meestal gaat dit gepaard met een afname van de efficiëntie, alhoewel dit niet hoeft. Een derde reden is dat in een aantal landen sprake is van een significante handel in tweedehands elektromotoren.

Dit uitgangspunt wordt bevestigd vanuit Bijlage A, waar de mondiale motorvoorraad naar IE-klassen wordt geanalyseerd, met als eindresultaat **Figuur 14**. Deze figuur deelt het elektromotorenpark van de eerder behandelde regio's op naar de onderscheiden IE-klassen. De eerste balk is de mondiale situatie in 2016. Vanaf Indonesië naar de US verbetert de situatie en neemt het aandeel efficiënte motoren toe. In Indonesië is het aandeel IE0+IE1 met bijna 95% het hoogst, gevolgd door Turkije (net 70%) en de EU (ruim 60%). In de US en Canada, waar een MEPS op het niveau van IE2 al in 1997 werd geïntroduceerd (zie **Figuur 5**), ligt dit percentage net boven de 30%. In deze rapportage gaan we er van uit dat de situatie in de EU ook geldt voor Nederland.

Figuur 14: Aandeel elektromotorenpark naar IE-klassen voor vier onderscheiden regio's, vanaf 0,75 kW, 2016



4.4 Procentueel besparingspotentieel Nederland elektromotoren

In principe hebben voor het bepalen van het besparingspotentieel in Nederland de bottom-up bandering van (Almeida et al, 2003) opnieuw uitgevoerd, maar dan met de uitgangspunten voor de huidige basissituatie qua IE-opbouw, zoals weergegeven in **Figuur 14**²⁴. De berekening is uitgevoerd op de vermogensrange van 0,75 kW tot 375 kW, conform de MEPS aanscherping van 1 januari 2017 (zie **Figuur 6**).

Als onderdeel van een gevoeligheidsanalyse, hebben we dit voor iedere regio uitgevoerd. **Tabel 5** geeft het besparingspotentieel op het elektriciteitsverbruik wanneer alle minder efficiënte elektromotoren van het één op het andere moment zouden worden vervangen door een efficiënter exemplaar. Dit kan gezien worden als het introduceren of aanscherpen van een MEPS.

²⁴ Er is hiervoor een Excel rekensheet ontwikkeld waarbij per vermogensrange is ingevoerd: aantal motoren en draaiuren per jaar (Almeida et al, 2003), met een onderscheid naar IE-klassen (**Figuur 14**). Tussentijdse waarden voor vermogens zijn aangevuld vanuit het Indonesië project (JICA & PT.EMI, 2009). Gecombineerd met een rendement (paragraaf 3.1) geeft dit het totaal elektriciteitsverbruik van de basissituatie in 2016. Door een MEPS op een IE-klasse te zetten als doelbereik, volgt het besparingspotentieel. De opdeling naar IE-klassen is voor iedere vermogensrange gelijk gehouden; wat gerechtvaardigd lijkt volgens **Figuur 13**, alhoewel de onderlinge opdeling van IE0 en IE1 onbekend is.

Tabel 5: Besparingspotentieel MEPS elektromotoren, vanaf 0,75kW, voor diverse regio's.

	MEPS IE2	MEPS IE3	MEPS IE4
Wereld	1.7%	3.2%	4.0%
Indonesië	3.5%	5.2%	6.0%
Turkey	2.1%	3.8%	4.6%
EU en NL	1.8%	3.4%	4.2%
US & Canada	0.9%	2.0%	2.8%

Conclusies:

1. Wanneer alle Nederlandse IE0+IE1+IE2 elektromotoren vanaf 0,75 kW nu worden vervangen door IE3 elektromotoren, levert dit 3,4% elektriciteitsbesparing op.
2. Wanneer we zoeken naar een bandbreedte, zouden we het verschil met Turkije kunnen nemen, afgerond: ± 10 procentpunt afwijking in het aandeel IE0+IE1 resulteert in ongeveer $\pm 0,5$ procentpunt bandbreedte rondom dit potentieel.
3. Wanneer de MEPS wordt aangescherpt naar IE4, neemt het besparingspotentieel met 0,8 procentpunt toe.
4. Uit verder analyses volgt dat dit besparingspotentieel 1 procentpunt hoger ligt in vergelijking tot de MEPS-situatie die gold vóór 1 januari 2017, voor de vermogensrange startende bij 7,5 kW in plaats van nu 0,75 kW.

Ter vergelijking in verlengde van conclusie 4:

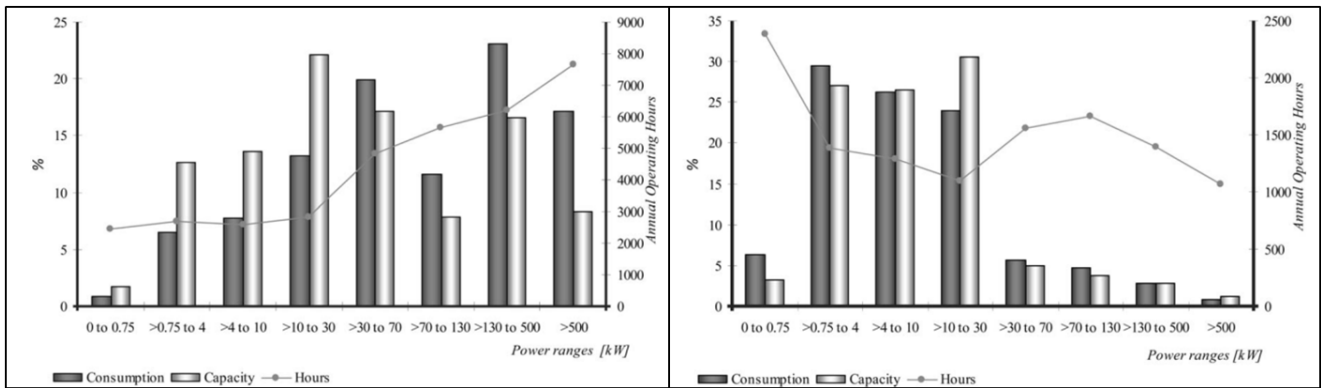
In de Nederlandse studie kwam (Jong, 2012) uit op een besparingspotentieel van 2,3% wanneer elektromotoren groter dan 10 kW worden vervangen door een combinatie van IE3 of IE4 (paragraaf 4.2). Wanneer op deze vermogensgrenzen gefilterd wordt, berekenen we nu 2,1% voor een MEPS op IE3 en 2,7% voor IE4.

4.5 Procentueel besparingspotentieel dienstensector versus industrie

Over het algemeen draaien in de dienstensector kleinere motoren in vergelijking tot de industrie. Deze worden voornamelijk toegepast bij klimaatinstallaties, liften en roltrappen. In **Figuur 15** wordt dit onderscheid weergegeven voor de EU. Omdat het efficiëntieverschil tussen de diverse IE-klassen voor kleinere motoren toeneemt (zie paragraaf 3.1) zal ook het in de vorige paragraaf gevonden *procentuele* besparingspotentieel binnen de dienstensector net wat hoger liggen, en binnen de industrie juist wat lager.

'Motors up to 30 kW represent about 86% of the motor electricity consumption, making them a specific target when evaluating the energy savings with energy efficient motors in the commercial sector.'

Figuur 15: Elektriciteitsverbruik, geïnstalleerd vermogen en draaiuren in de industrie (links) en de dienstensector (rechts), per vermogensrange, data voor de EU (Almeida et al, 2003)²⁵



Met (Almeida et al, 2003) kan bepaald worden dat, ten opzichte van het gewogen gemiddelde voor de twee sectoren, het besparingspotentieel in de dienstensector zo'n 25% hoger ligt. Het besparingspotentieel in de industrie ligt juist zo'n 10% lager. Met behulp van deze factoren is in **Tabel 6** het gemiddeld besparingspotentieel voor Nederland verder opgedeeld naar sectoren.

Tabel 6: Besparingspotentieel MEPS elektromotoren vanaf 0,75kW, per sector voor de EU en Nederland.

	MEPS IE2	MEPS IE3	MEPS IE4
Nederland dienstensector	2.3%	4.3%	5.3%
Nederland gemiddeld (overgenomen van Tabel 3)	1.8%	3.4%	4.2%
Nederland industrie	1.6%	3.1%	3.8%

Deze elektromotoren drijven diverse systemen aan, waar o.a. paragraaf 2.2 al op is ingegaan. In Bijlage B wordt de industrie verder opgedeeld naar subsectoren en wordt zowel in kwantitatieve- als in kwalitatieve zin weergegeven welke systemen dit zijn.

25 Opvallend is dat in de dienstensector, per vermogensrange, de relatief geïnstalleerde capaciteit en het uiteindelijke relatieve elektriciteitsverbruik, dus de hoogte van de twee naast elkaar afgebeelde staven, redelijk met elkaar overeenkomen. Het elektriciteitsverbruik komt voort uit de capaciteit en het aantal draaiuren per jaar. Te zien is dan ook dat het aantal jaarlijkse draaiuren over de gehele vermogensrange 'slechts' varieert tussen de 1000 en 2500 uur. In de industrie is het beeld geheel anders. Het aantal draaiuren loopt continue op van rond de 2300 uur voor de kleinste vermogensrange tot bijna 8000 voor de grootste vermogensrangen. Met deze reden is ook het relatieve elektriciteitsverbruik voor de grotere elektromotoren een stuk hoger dan voor de kleinere; met ander woorden; grotere elektromotoren zijn in de industrie meer in aantal aanwezig en maken bovendien meer draaiuren. Het verschil in efficiëntie tussen de IE-klassen is bij de grotere motoren echter kleiner.

4.6 Procentueel besparingspotentieel industriële subsectoren

Op vergelijkbare wijze kan een inschatting worden gemaakt voor het besparingspotentieel naar industriële subsector, weergegeven in **Tabel 7** (de originele beschrijving vanuit (Almeida et al, 2003) is gehandhaafd). Zowel in de 'non-metallic mineral' als in de 'paper, pulp and print' industrie is het aantal draaiuren per jaar relatief hoog (zie Bijlage B). In deze twee subsectoren ligt het hoogste procentuele besparingspotentieel voor energie efficiënte elektromotoren.

Tabel 7: Besparingspotentieel MEPS elektromotoren, vanaf 0,75kW tot 375kW, per industriële subsector, voor de EU en Nederland.

	Besparingspotentieel MEPS IE3	Besparingspotentieel MEPS IE4
Non-metallic mineral	4.5%	5.6%
Paper, pulp and print	4.0%	4.9%
Food, beverage and tobacco	3.1%	3.8%
Chemical	3.1%	3.9%
Machinery and metal	3.1%	3.8%
Iron and steel	3.1%	3.9%
Other industry	2.0%	2.5%
EU industry	3.1%	3.8%

4.7 Besparingspotentieel Nederlandse industrie en dienstensector IE3-elektromotoren in TWh

We weten nu de *procentuele* besparingspotentiëlen. In deze paragraaf zetten we dit om naar een besparingspotentieel uitgedrukt in *kWh*, voor de Nederlandse sectoren die betrokken zijn bij de Green Deal. De verplichtende Europese regelgeving dicteert de aanschaf van elektromotoren op het niveau van IE3. Vanwege deze verplichting, mag dit besparingspotentieel niet toegekend worden aan de Green Deal. Pas wanneer het de Green Deal lukt om bedrijven ervan te overtuigen vrijwillig direct voor IE4 te kiezen, wordt de *meerbesparing* toegekend aan de Green Deal (zie volgende paragraaf). Aspecten van de systeemgrenzen die van belang zijn voor de berekening (RVO, 2016b):

- **Sectoren:** de hoofddoelgroep van de Green Deal zijn de 800 *industriële* Meerjarenafspraak energie-efficiëntie 2001-2020 (MJA3), en de Meerjarenafspraak energie-efficiëntie ETS-ondernemingen (MEE), met 1050 productielocaties. Denk

aan sectoren als papier, voedingsmiddelen, chemie, metaal, rubber- en kunststof, keramische industrie, koel- en vrieshuizen, waterleidingbedrijven en afvalwaterzuivering²⁶. Dit zijn over het algemeen de grotere bedrijven met een relatief groot energieverbruik, waar een tijdsinvestering in een uitgebreide energy audits ook relatief veel energiebesparing kan opleveren. MJA bedrijven binnen de dienstensector worden niet meegenomen.

➤ *Uitgaande van de officiële SBI indeling (CBS, 2012) bevinden de genoemde sectoren zich zowel binnen de Industrie (SBI-C), de Energievoorziening (SBI-D), de Waterbedrijven als binnen het afvalbeheer (SBI-E). Andersom geredeneerd; niet benoemd zijn de Huishoudens (SBI-T), de sectoren Landbouw, bosbouw en visserij (SBI-A), de Delfstoffenwinning (SBI-B) de Bouwnijverheid (SBI-F) en de Dienstensector (SBI G t/m U)²⁷.*

- **Vermogen:** de Green Deal volgt de EU afspraken voor elektromotoren, zoals weergegeven in **Figuur 6**. In (RVO, 2016b) wordt daarom nog van een vermogensrange van 7,5 kW tot 375 kW gesproken. In deze studie gaan we echter uit van de aanscherping per 1 januari 2017 wanneer de gehele range van ‘middelgrote elektromotoren’ binnen de regeling valt; 0,75 kW tot 375 kW.

In **Tabel 8** is in de eerste kolom het elektriciteitsverbruik voor de hierboven genoemde SBI-sectoren weergegeven, afkomstig uit het modelleninstrumentarium van ECN, dat ingezet wordt bij de Nationale Energieverkenning (ECN, 2016). De tweede kolom geeft het aandeel dat naar elektromotoren gaat, conform (Almeida et al, 2003). De derde kolom omvat het gewogen gemiddelde voor de procentuele besparing van een IE3-MEPS, overgenomen van **Tabel 6**. De vierde kolom geeft het maximale besparingspotentieel dat hier gerealiseerd kan worden, op grond van deze uitgangspunten, dat geldt voor de totale sectoren, uitgedrukt in TWh. De vijfde kolom geeft weer welk deel hiervan overlapt met alle MJA en ETS bedrijven. De percentage is tot stand gekomen na overleg met RVO (Abeelen, 2016)²⁸. De laatste kolom geeft het besparingspotentieel voor dit segment, uitgedrukt in TWh. Het deel dat hier bij de industrie staat, zijn de bedrijven waar de Green Deal zich op richt (de eerder genoemde ‘hoofdgroep’).

Aanbeveling: een vervolgstudie naar het aandeel elektriciteitsverbruik dat voor rekening komt van MJA en ETS bedrijven. Zie voetnoot 28.

26 Er is inmiddels aanvullend een pilot gestart buiten deze hoofddoelgroep, ‘richting midden- en kleinverbruikers binnen de overige industrie, gebouwen en sectoren als water’. Deze groep is expliciet niet meegenomen bij het bepalen van het besparingspotentieel.

27 Volgens (Waide & Brunner, 2011) gaat 22% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik naar elektromotoren. Dit zijn echter vaak kleinere elektromotoren die geïntegreerd zijn in een ander apparaat, zoals een koelkast of de CV-ketel met een waterpomp. Energiebesparing wordt in deze sector vaak via een andere route gerealiseerd, zoals labelprogramma’s (ook onder Eco-design). Volgens (Waide & Brunner, 2011) gaat zo’n 39% van het elektriciteitsverbruik binnen de agrarische sector naar elektromotoren, maar is dit aandeel slechts verantwoordelijk voor 3% van het totaal verbruik van het elektromotorenpark in een land. Noot dat een MEPS op individuele elektromotor voor alle sectoren blijft gelden, ook voor de huishoudelijke- en agrarische sector.

28 Het deel elektriciteitsverbruik dat voor rekening komt van MJA en ETS bedrijven is bepaald op 34%. Dit percentage is echter lastiger te bepalen dan men op voorhand wellicht denkt. Er is een bepaalde mate van overlap tussen MJA en ETS bedrijven, wat gevaar oplevert voor dubbelstellingen. Een tweede lastig onderwerp is het onderscheid naar finaal elektriciteitsverbruik (inkoop aan de meter) en naar het verbruikssaldo (inkoop minus doorlevering). Dat betekent dat bedrijven met een eigen WKK een zeer laag elektriciteitsverbruik registreren (verwerkt in kolom 5), terwijl in kolom 1 het volledig energetisch verbruik is meegenomen. Ook het aanzienlijke verbruik voor elektrolyse verdient extra aandacht; dit wordt gezien als feedstockverbruik (als ‘grondstof’) en telt daarom niet mee als energiegebruik. Met andere woorden; ondanks dat **Tabel 8** met de best mogelijke zorg is samengesteld, kan een vervolgstudie op dit vlak geen kwaad.

Tabel 8: Besparingspotentieel MEPS IE3 voor de industrie, dienstensector en de dekkingsgraad van MJA en ETS bedrijven en de Green Deal. Het besparingspotentieel betreft enkel het vervangen van verouderde elektromotoren door efficiëntere IE3 exemplaren.

	1	2	3	4=1*2*3	5	6=4*5
	Totaal elektriciteitsverbruik sectoren TWh	% naar elektromotoren	Uitgangspunt besparingspercentage MEPS IE3	TWh besparingspotentieel NL	% overlap met MJA en ETS	TWh besparingspotentieel MJA en ETS. Het industriële deel is gelijk aan de Green Deal
Industrie, inclusief energie en water (SBI hoofdafdelingen C, D en E)	47,0	69%	3,1%	1,0	42%	0,4
Dienstensector (SBI hoofdafdelingen G t/m U)	35,8	38%	4,3%	0,6	23%	0,1
Totaal deze sectoren	82,8	56%	3,4%	1,6	35%	0,6
% van Totaal elektriciteitsverbruik sectoren				1,9%		0,7%

Conclusie voor een situatie waarbij morgen alle verouderde elektromotoren zijn vervangen door een efficiënter IE3 exemplaar:

- Wanneer de gehele industriële en dienstensector wordt beschouwd, volgens de definitie van **Tabel 8**, ligt het besparingspotentieel rond de 1,6 TWh (5,7 PJ_finaal).
- De bedrijven die binnen de MJA/ETS convenanten vallen, nemen 0,6 TWh (2,0 PJ_finaal) van dit volledige potentieel voor hun rekening, wat een dekkingsgraad is van 35%.
- Hiervan vallen de *industriële* bedrijven binnen de Green Deal, volgens de strikte omschrijving van de hoofddoelgroep. Deze nemen 0,4 TWh (1,5 PJ_finaal) van dit volledige potentieel voor hun rekening, wat een dekkingsgraad is van 27%. Nogmaals: dit potentieel komt voort uit verplichtende EU-regelgeving, en mag daarom niet toegeschreven worden aan de Green Deal.

4.8 Additioneel besparingspotentieel IE4- elektromotoren in TWh

Het verschil dat de Green Deal ten opzichte van **Tabel 8** kan maken, is bedrijven stimuleren direct voor IE4 elektromotoren te kiezen. **Tabel 9** toont het maximaal haalbare resultaat.

Conclusie voor een situatie waarbij morgen alle verouderde elektromotoren zijn vervangen door een efficiënter IE4 exemplaar, in plaats van door een IE3 exemplaar (resultaten **Tabel 9** minus **Tabel 8**):

- Wanneer de gehele industriële en dienstensector wordt beschouwd, neemt het besparingspotentieel toe met 0,4 TWh (1,3 PJ_finaal) tot 2,0 TWh (7,1 PJ_finaal). Deze meerbesparing van 24% kan gezien worden als het extra effect wanneer EU-wetgeving dicteert dat IE4 de norm wordt.
- Het besparingspotentieel voor de bedrijven binnen de MJA/ETS convenanten, neemt toe met 0,13 TWh (0,5 PJ) tot 0,7 TWh (2,5 PJ_finaal).
- Het besparingspotentieel voor het industriële deel hiervan heeft een relatie met de Green Deal. Dit potentieel neemt toe met 0,10 TWh (0,4 PJ_finaal) tot 0,5 TWh (1,9 PJ_finaal). Deze meerbesparing kan gezien worden als het extra effect wanneer de Green Deal alle bedrijven binnen haar hoofddoelgroep weet te overtuigen verouderde elektromotoren te vervangen door IE4, in plaats van IE3 exemplaren.

Tabel 9: Herhaling van **Tabel 8**, maar dan voor een MEPS op het niveau van IE4.

	1	2	3	4=1*2*3	5	6=4*5
	Totaal elektriciteitsverbruik sectoren TWh	% naar elektromotoren	Uitgangspunt besparingspercentage MEPS IE4	TWh besparingspotentieel NL	% overlap met MJA en ETS, gelijk aan Green Deal	TWh besparingspotentieel MJA en ETS. Het industriële deel is gelijk aan de Green Deal
Industrie, inclusief energie en water (SBI hoofdafdelingen C, D en E)	47,0	69%	3,8%	1,2	42%	0,5
Dienstensector (SBI hoofdafdelingen G t/m U)	35,8	38%	5,3%	0,7	23%	0,2
Totaal deze sectoren	82,8	56%	4,2%	2,0	35%	0,7
% van Totaal elektriciteitsverbruik sectoren				2,4%		0,8%

4.9 Samenvatting

Opbouw elektromotorenpark naar IE-klassen

Om het besparingspotentieel voor het nationaal elektromotorenpark te berekenen, is inzicht nodig naar de opbouw naar vermogen (motorgrootte), IE-klassen, en draaiuren van de motoren. Dit is echter een zeer tijdrovende inventarisatie en vrijwel geen enkel land heeft dit inzicht, ook Nederland niet. Door echter gebruik te maken van de spaarzame informatie vanuit andere landen, kunnen we deze aspecten ook voor Nederland inschatten. We concluderen dat 95% van het draaiende elektromotorenpark onder het niveau van IE3 zit, de huidige EU-wetgeving. IE0 en IE1 nemen samen zo'n 60% van de voorraad voor hun rekening. Een positieve uitzondering vormen Amerika en Canada, waar dit percentage inmiddels is gehalveerd. In deze regio's is een MEPS al in 1997 geïntroduceerd.

Procentueel besparingspotentieel bij vervanging verouderde elektromotorenpark

Met voorgaande uitgangspunten is berekend dat wanneer verouderde elektromotoren worden vervangen door IE3 elektromotoren, het Nederlandse elektromotorenpark 3,4% minder elektriciteit zal verbruiken. Wanneer de keus direct op IE4 valt, neemt deze besparing toe tot 4,2%. Een gevoeligheidsanalyse toont aan dat een afwijking in de gekozen uitgangspunten niet een drastisch effect heeft op deze besparingspotentiëlen. Omdat in de dienstensector over het algemeen wat kleinere motoren draaien, en omdat bij kleinere motoren het efficiëntieverschil tussen de IE-klassen groter is, ligt het procentueel besparingspotentieel hier wat hoger in vergelijking tot de industrie. Ook binnen de industrie zijn variaties te constateren tussen de diverse subsectoren. Bij de subsectoren 'niet-metaalhoudende minerale producten' en 'papier- en karton' ligt het potentieel wat hoger.

Absoluut besparingspotentieel bij vervanging verouderde elektromotorenpark

Met de huidige EU regelgeving op het niveau van IE3 elektromotoren, wordt binnen de industrie en de dienstensector ongeveer 1,6 TWh (5,7 PJ) elektriciteit bespaard. Wanneer gekozen wordt voor IE4 elektromotoren, neemt dit toe tot 2,0 TWh (7,1 PJ). De Green Deal zou in theorie dit verschil *binnen de industrie* kunnen overbruggen, maar vooralsnog kiezen de meeste bedrijven voor IE3 elektromotoren. Overigens zijn IE4 elektromotoren ook nog niet altijd (in grote aantallen) voorradig bij leveranciers, alhoewel de grote merken wel de complete range aan vermogens *op bestelling* kunnen leveren.

5

Aanvullend besparingspotentieel van een systeembenadering

In hoofdstuk 3 hebben we in de tweede paragraaf gekeken naar het extra besparingspotentieel dat ontstaat, wanneer naast de verouderde elektromotor, het gehele aangedreven systeem wordt geoptimaliseerd. We hebben het dan bijv. over een complete retrofit van een pompsysteem. In dit hoofdstuk evalueren we het besparingspotentieel bij volledige kosteneffectieve optimalisatie van *alle* aangedreven systemen in de Nederlandse industrie en dienstensector. Hieruit volgt het besparingspotentieel dat we aan de Green deal toekennen

5.1 Systeemgrenzen Green Deal

In het vorige hoofdstuk zagen we dat een MEPS-besparingspotentieel voor elektromotoren afhankelijk is van de sectoren en vermogensrange die worden meegenomen. Bij de systeembenadering zijn er meer variabelen die vastgelegd moeten worden, welke volgen uit (RVO, 2016b):

- **Sectoren:** zie paragraaf 4.7
- **Vermogen:** zie paragraaf 4.7
- **Aangedreven systemen:** uit (Werkhoven et al, 2016a; Werkhoven et al, 2016b) volgt dat de Green Deal zich niet beperkt tot enkel de pomp-, compressor- en ventilatiesystemen (gegroepeerd tot ‘stromingssystemen’), maar dat alle systemen worden geëvalueerd. Men kan hier denken aan transportbanden, roltrappen, liften, en oneindig veel industriële processen waar elektromotoren een onderdeel van zijn, zoals extruders, draaibanken (veelal gegroepeerd tot ‘mechanische verplaatsingssystemen’).
- **Geaccepteerde terugverdientijd maatregelen:** we kunnen ervan uitgaan dat enkel de kosteneffectieve maatregelen worden genomen. Daarbij hanteert men verschillende criteria voor investeringsvoorstellen. Algemeen hanteert men een maximale terugverdientijd van minder dan 3 jaar. Eindgebruikers hebben een voorkeur om ‘klein’ te beginnen, en bij gebleken succes op te schalen, te herhalen, uit te breiden naar meer aandrijfsystemen (Werkhoven et al, 2016b).

- **Procentueel besparingspotentieel:** welke procentueel besparingspotentieel geloven we, gewogen en geaggregeerd over voorgaande gekozen systeemgrenzen?

Dit laatste punt, het procentueel besparingspotentieel, is een lastige. Deze kan niet eenvoudig rekenkundig bepaald worden. Het enige waar we nu op terug kunnen vallen zijn geïnventariseerde praktijkvoorbeelden. Op voorhand is al te voorspellen dat praktijkvoorbeelden een zeer grote bandbreedte in behaalde efficiëntieverbeteringen zullen laten zien. Dit geldt immers ook voor de resultaten van de eerste fase van de Green Deal (paragraaf 3.2). Met deze praktijkvoorbeelden ligt de uitdaging bij de expert om hier een *gewogen gemiddeld* besparingspotentieel uit te halen. Gewogen gemiddeld per sector, en gewogen *geaggregeerd* over sectoren heen

Diverse studies geven inzicht in gerealiseerde besparingspercentages. Enkele worden in de volgende paragraaf besproken. De systeemgrenzen verschillen per studie.

5.2 Voorbeelden vanuit de literatuur

Extra besparingspotentieel toerentalregeling

De studie van (Almeida et al, 2003) geeft inzicht in het additionele besparingspotentieel wanneer stromingssystemen worden voorzien van een toerentalregeling²⁹. In **Tabel 10** is dit gegeven voor de industrie en de dienstensector, en voor subsectoren binnen de industrie.

- Kolom 1 herhaalt vanuit **Tabel 6** en **Tabel 7** het besparingspotentieel voor efficiënte IE3-elektromotoren
- Kolom 2 geeft het besparingspotentieel van de toerentalregelaar als individuele maatregel voor stromingssystemen
- Kolom 3 geeft het besparingspotentieel wanneer beide maatregelen worden toegepast. Omdat de twee maatregelen elkaar beïnvloeden, is dit niet een optelsom van de twee voorgaande individuele besparingspercentages; er is sprake van een bepaalde mate van overlap.

²⁹ Noot dat vanuit EU wetgeving, ook een IE2 met een toerentalregeling geïnstalleerd mag worden, in plaats van te kiezen voor een IE3 elektromotor (in **Figuur 6** 'frequentieomvormer' genoemd).

Tabel 10: Bewerkte gegevens (Almeida et al, 2003); additioneel besparingspotentieel toerentalregelaars, toegevoegd aan een MEPS op het niveau van IE3³⁰.

	1	2	3
	Procentueel besparingspotentieel MEPS IE3	Procentueel besparingspotentieel toerentalregeling	Procentueel besparingspotentieel beide maatregelen
Non-metallic mineral	4.5%	8.7%	12.7%
Paper, pulp and print	4.0%	13.8%	17.2%
Food, beverage and tobacco	3.1%	6.0%	8.8%
Chemical	3.1%	9.5%	12.3%
Machinery and metal	3.1%	3.0%	6.0%
Iron and steel	3.1%	7.9%	10.9%
Other industry	2.0%	5.2%	7.1%
EU industry	3.1%	7.8%	10.6%
Commercial sector	4.3%	5.7%	9.7%
Industrial + commercial sector	3.4%	7.3%	10.3%

Conclusie:

1. Het toepassen van een toerentalregelaar resulteert in een besparing van 3,0 tot 13,8%, afhankelijk van de (sub-)sector.
2. Het gewogen gemiddeld besparingspotentieel over alle (sub-)sectoren heen, neemt toe van 3,4 tot 10,3%.

Strominssystemen:

In de vorige situatie waren alle aangedreven systemen meegenomen, waarbij het slechts voor een deel logisch is deze te combineren met een toerentalregeling. De besparingspotentiëlen in **Tabel 10** zijn dan ook gewogen-gemiddelden over alle systemen heen. Een toerentalregeling kan vaak goed worden gecombineerd met stromingssystemen; **pomp-, compressor- en ventilatiesystemen**. In (Jong, 2012) wordt voor de Nederlandse industrie het besparingspotentieel bepaald voor enkel deze systemen. Bijlage C toont de bijdragen van individuele maatregelen. Ook hier geldt dat de individuele besparingspercentages niet bij elkaar mogen worden opgeteld. Uit de bijlage volgt:

- Voor ventilatiesystemen geldt dat de grootste bijdrage aan het besparingspotentieel wordt gerealiseerd met het plaatsen van een toerentalregelaar (35%). Daarna volgen 9 aanvullende technische maatregelen, zoals het vervangen van de verouderde fan door een efficiëntere (15%). Een IE3 en IE4 leveren respectievelijk 3% en 4%.
- Ook bij pompsystemen levert de toerentalregelaar met 25% het hoogste besparingspotentieel. Daarna volgen 9 aanvullende technische maatregelen, zoals het vervangen van de bestaande pomp door een beter gedimensioneerde (15%). Een IE3 levert 3%.

30 De besparingspercentages in de laatste kolom wijken minimaal af van die gevonden in hoofdstuk 4 en welke we straks vinden in **Tabel 11**. De reden is dat in (Almeida et al, 2003) de verhoudingen van het elektriciteitsverbruik industrie/dienstensector in 2003 in de EU (met factor 1,6), anders ligt dan berekend voor de Green Deal gerelateerde sectoren in Nederland in 2015 (met factor 1,3). Ondanks dit verschil is de afwijking in het geaggregeerd besparingspotentieel uiteindelijk minimaal. Dit inzicht kan toegevoegd worden aan de gevoeligheidsanalyse.

- Bij compressorsystemen levert het toepassen van een toerentalregelaar 15% besparing op. Een maatregel als het installeren van een 'compressor management systeem'³¹ levert maar liefst 25% elektriciteitsbesparing op. Het repareren van lekkages 20%. Ook hier resulteren een IE3 en IE4 elektromotor in respectievelijk 3% en 4% besparing.

Extra besparingspotentieel volledige systeembenadering

In (UNIDO, 2011) wordt eerst besproken welke aangedreven systemen er zijn en hoe deze kunnen worden geoptimaliseerd. De praktijkvoorbeelden die vervolgens behandeld worden laten een efficiëntieverbetering van **4% tot 59%** zien; de eerste betrof een geoptimaliseerd compressiesysteem, en tweede de installatie van 15 VSD's in een ventilatiesysteem in een textiel productiefabriek. De studie doet geen uitspraak over gemiddelde besparingspotentiëlen.

In (Waide & Brunner, 2011) wordt eerst via een top-down en een bottom-up analyse het **mondiale** verbruik van elektromotoren bepaald. Dit betreft nu elektromotoren toegepast in **alle sectoren**. Daarna volgt de uitspraak dat met efficiëntere motoren zo'n 4% tot 5% wordt bespaard (overeenkomstig het vorige hoofdstuk). Hierna wordt de scope verbreed naar het gehele aangedreven systeem. Er wordt uitgegaan van een kosteneffectief besparingspotentieel van **20% tot 30%**. Dit zou het mondiale elektriciteitsverbruik met 10% reduceren. Waarschijnlijk is dit het veel geciteerde besparingspotentieel.

In (Keulenaar et al, 2004) is voor de **industriële sector** een besparingspotentieel van **29% in EU-15**³² berekend (7% besparing op het totaal Europees elektriciteitsverbruik). Dit is het economisch besparingspotentieel, met een terugverdientijd van maximaal 3 jaar; het technisch besparingspotentieel ligt nog wat hoger.

In (McKane & Hasanbeige, 2010) wordt het besparingspotentieel voor **pomp-, ventilatie- en compressorsystemen** met elkaar vergeleken, voor landen in verschillende stadia van ontwikkeling. Hieruit volgt dat het kosteneffectieve besparingspotentieel voor de **US, Canada en de EU** voor deze systemen tussen de **25% en 29%** ligt. Voor Thailand, Vietnam en Brazilië ligt dit tussen de 42% en 46%. Het *technisch* potentieel ligt voor de eerste drie 'westerse' landen zo'n 10 tot 15 procentpunt hoger; voor de laatste drie landen 'opkomende economieën' is dit minder, namelijk zo'n 2 tot 8 procentpunt. Voor opkomende economieën ligt het technisch besparingspotentieel dus minder ver van het economische besparingspotentieel af. De reden hiervoor is dat het efficiëntieniveau van de referentiesituatie nu een stuk lager ligt en dat, vanwege de lagere loonkosten, meer maatregelen kosteneffectief uitgevoerd kunnen worden.

In (Jong, 2012) betreft de **Nederlandse industriële sector**. De ondergrens ligt bij elektromotoren met een **vermogen van 10 kW**, en evalueert enkel **pomp-, compressor- en ventilatiesystemen**. Via literatuurstudie en voornamelijk expert-consultaties zijn technische en kosteneffectieve besparingspotentiëlen berekend. Volgens de studie ligt

31 Zorgt er o.a. voor dat er geen druk wordt opgebouwd wanneer er geen vraag is, en levert een lagere druk wanneer deze geschikt is voor een bepaalde toepassing.

32 The term EU-15 refers to the 15 Member States of the European Union as of December 31, 2003, before the new Member States joined the EU. The 15 Member States are Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal, Spain, Sweden, and the United Kingdom <http://itlaw.wikia.com/wiki/EU-15>

het technische besparingspotentieel binnen deze systeemgrenzen op 40%. Het kosteneffectieve **besparingspotentieel** bedraagt **31%**, waarvan de helft afkomstig is van het optimaliseren van compressorsystemen. Dit zou een afname van 9% van het totaal Nederlands industrieel elektriciteitsverbruik betekenen.

Conclusie:

De bandbreedte is groot; 4% tot 59% besparingspotentieel voor individuele praktijk-situaties binnen de eerste studie. De vier studies die volgen geven een gemiddeld resultaat van ergens tussen de 20 tot 30%.

Met deze informatie kunnen we concluderen dat er een veel groter (kosteneffectief) besparingspotentieel is wanneer een systeembenadering wordt toegepast, in plaats van enkel de verouderde motor te vervangen.

5.3 Uitgangspunten procentuele besparingspotentiëlen

De systeemgrenzen van de Green Deal zijn behoorlijk ruim gekozen; bovendien verschuiven ze in de tijd. De volgende uitgangspunten worden bij het bepalen van het besparingspotentieel gehanteerd en zijn in de kolommen van **Tabel 11** opgenomen.

- Kolom 1 vervangen van verouderde elektromotoren:
We denken dat bedrijven en de markt nog niet rijp zijn voor grootschalige introductie van IE4 elektromotoren. De bedrijven van de eerste fase van de Green Deal kiezen meestal voor een IE3 elektromotor. Bovendien is IE4 nog niet altijd in grote aantallen voorradig bij leveranciers. De besparingspotentiëlen voor IE3 zijn overgenomen vanuit hoofdstuk 4.
- Kolom 2 stromingssystemen:
Vanuit **Tabel 10** zijn de besparingspotentiëlen ingevuld wanneer IE3 elektromotoren worden gecombineerd met toerentalregelaars voor stromingssystemen.
- Kolom 3 stromingssystemen industrie:
Als stromingssystemen in de industrie volledig worden geoptimaliseerd, gaan we uit van besparingspotentiëlen volgens (internationale) literatuur (paragraaf 5.2). Internationale studies gaan voor de industrie uit van 20 tot 30%; de Nederlandse studie gaat uit van een kosteneffectieve besparingspotentieel van 31%. Dit zien we echter als het maximaal haalbare, bovendien zijn er situaties waarbij het fysiek gezien lastig is om een volledige retrofit uit te voeren³³. We gaan daarom uit van 25%.

33 Citaat uit een energy audit van een van de grootste bedrijven van Nederland: 'Vervanging van verouderde elektromotoren door een hoog efficiënt exemplaar: dit is vaak niet mogelijk omdat de bouwmaat anders is. Hierdoor moet de fundatie aangepast worden. Waar mogelijk wordt dit wel gedaan, maar er wordt altijd een kosten/baten analyse uitgevoerd'.

- Kolom 3 stromingssystemen dienstensector:
De belangrijkste stromingssystemen in de dienstensector zijn gecombineerd met klimaatinstallaties. Volgens (Menkveld, 2016) ligt 'het laagdrempelige besparingspotentieel voor het beter inregelen van klimaatinstallaties gemiddeld op 15%', Dit wordt overgenomen.
- Kolom 4 overige systemen:
Omdat de toerentalregelaar van kolom 2 nu meestal geen functie heeft, wordt deze qua besparingspotentieel van de waarde in kolom 3 afgetrokken.
- Kolom 5 resultaat:
Met voorgaande keuzes ligt er een gewogen gemiddeld besparingspotentieel van 22% en 14% binnen de industrie en de dienstensector. Geaggregeerd levert dit 20%. Bij het wegen is rekening gehouden met:
(1) het elektriciteitsverbruik van elektromotoren volgens **Tabel 8**
(2) de opdeling naar type aangedreven systemen volgens **Figuur 7**

Tabel 11: Uitgangspunten besparingspotentiëlen Nederlandse situatie

	1 elektromotoren	2 stromings- systemen	3 stromings- systemen	4 overige systemen	5 gewogen gemiddelde 3 & 4
	Verouderde elektromotoren vervangen door IE3 exemplaren, vanaf 0,75 kW	Kolom 1, aangevuld met toerentalregelaar voor pomp-, ventilatie- en compressor-systemen	Kolom 1 en 2, gevolgd door een totale optimalisatie pomp-, ventilatie- en compressor-systemen	Kolom 1, gecombineerd met totale optimalisatie overige systemen	Kolom 1, gecombineerd met totale optimalisatie alle systemen
Industriële sector	3,1%	10,6%	25,0%	17,5%	22,2%
Dienstensector	4,3%	9,7%	15,0%	9,6%	14,0%
Gewogen gemiddelde	3,4%	10,3%	21,4%	16,2%	19,8%

5.4 Besparingspotentieel Nederlandse industrie en dienstensector systeembenadering in TWh

In **Tabel 12** wordt het besparingspotentieel in TWh berekend. De tabel komt voort uit de verbruiksgegevens van **Tabel 8** en de procentuele besparingspotentiëlen van de vorige paragraaf.

Conclusie:

- Wanneer de gehele industriële en dienstensector wordt beschouwd, volgens de definitie van **Tabel 12**, ligt het besparingspotentieel op ruim 9 TWh (33 PJ_finaal). Dit is ongeveer 11% van het totaal elektriciteitsverbruik van deze sectoren en 8%

van het totaal elektriciteitsverbruik van Nederland (115 TWh, niet weergegeven in de tabel).

- De bedrijven die binnen de MJA/ETS convenanten vallen, nemen 3,5 TWh (13 PJ_finaal) van dit volledige potentieel voor hun rekening, wat een dekkingsgraad is van 38%.
- Hiervan vallen de *industriële* bedrijven binnen de Green Deal, volgens de strikte omschrijving van de hoofddoelgroep. Deze nemen 3,0 TWh (11 PJ_finaal) van dit volledige potentieel voor hun rekening, wat een dekkingsgraad is van 33%.

Tabel 12: Besparingspotentieel systeembending de industrie, dienstensector en de dekkingsgraad van MJA en ETS bedrijven en de Green Deal. Het besparingspotentieel betreft een volledige maar kosteneffectieve systeemoptimalisatie.

	1	2	3	4=1*2*3	5	6=4*5
	Totaal elektriciteitsverbruik sectoren TWh	% naar elektromotoren	Uitgangspunt besparingspercentage systeem benadering	TWh besparingspotentieel NL	% overlap met MJA en ETS, gelijk aan Green Deal	TWh besparingspotentieel MJA en ETS. Het industriële deel is gelijk aan de Green Deal
Industrie, inclusief energie en water (SBI hoofdafdelingen C, D, E)	47,0	69%	22,2%	7,2	42%	3,0
Dienstensector (SBI hoofdafdelingen G t/m U)	35,8	38%	14,0%	1,9	23%	0,4
Totaal deze sectoren	82,8	56%	19,8%	9,1	38%	3,5
% van Totaal elektriciteitsverbruik sectoren				11%		4,2%

Overlap met andere beleidsinstrumenten

Dit is geen nieuw potentieel; elk ander beleidsinstrument dat zich richt op energiebesparing binnen de industrie en de dienstensector, zoals MJA-convenanten en het handhaven van de Wet Milieubeheer, zal zich ook op elektromotoren richten. Dit geldt ook voor diverse individuele componenten van de aangedreven systemen, zoals efficiëntere pompen.

De GreenDeal probeert echter een stap verder te gaan door ook IE4 en systeemoptimalisatie te promoten en te voorkomen dat bedrijven zich enkel richten op korte terugverdientijden voor investeringen in enkelvoudige besparingsmaatregelen. De specifieke focus op de aangedreven systemen als 'pakketbenadering' maakt deze GreenDeal interessant; de bewustwording dat deze systemen verantwoordelijk zijn voor zo'n groot deel van het elektriciteitsverbruik en dus ook een groot besparingspotentieel vertegenwoordigen. Deze systeemfocus en het doorrekenen van een kosteneffectief pakket aan besparingsmaatregelen is minder expliciet in lopende programma's aanwezig.

Bovendien vraagt de Green Deal bedrijven om tijd vrij te maken. In combinatie met de vanuit de Green Deal geboden begeleiding vergroot dit de interne kennis voor analyse en het opstellen van eigen verbetervoorstellen, wat de slagingskans voor

energiebesparing vergroot. Het oogsten van het besparingspotentieel binnen de industrie kan hiermee bovendien worden versneld.

Overige voordelen systeembenadering

Het verbreden van de scope naar een systeembenadering levert binnen de industrie een factor 7, en binnen de dienstensector een factor 3 meer elektriciteitsbesparing op. Ditzelfde geldt voor aspecten die hier direct aan gerelateerd zijn; de financiële besparing op de elektriciteitsrekening en de voorkomen CO₂ emissies bij de elektriciteitsproductie. In (Sipma et al, 2015) is berekend dat een factor 7 meer geïnvesteerd zal worden in (kosteneffectieve) energiebesparende maatregelen, wat gunstig is voor het aanjagen van deze sectoren. Omdat een systeembenadering complexer van aard is dan enkel het vervangen van een elektromotor, en omdat hiervoor vaak externe engineers nodig zijn, zou een systeembenadering vele malen meer arbeidskrachten vereisen.

Wanneer het besparingspotentieel volledig wordt geogst, zal dit een significante invloed hebben aan de zijde van de elektriciteitsproductie. Elektromotoren in de industrie draaien vaak het gehele jaar door, en maken dus onderdeel uit van de basisvraag van de elektriciteitsproductie.

5.5 Samenvatting

Systeemgrenzen Green Deal

Zoveel variatie in aangedreven systemen met evenzoveel variatie absolute en relatieve besparingspotentiëlen. In het vorige hoofdstuk zagen we dat een MEPS-besparingspotentieel voor elektromotoren afhankelijk is van de sectoren en vermogensrange die worden meegenomen. Bij de systeembenadering moet ook duidelijk omschreven worden welke typen aangedreven systemen worden meegenomen. De Green Deal beperkt zich niet tot enkel de pomp-, compressor- en ventilatiesystemen (gegroepeerd tot 'stromingssystemen'), maar neemt alle systemen mee.

De Green Deal heeft de MJA en ETS bedrijven als hoofddoelgroep. Berekend is dat deze bedrijven verantwoordelijk zijn voor 34% van het totaal elektriciteitsverbruik binnen de in deze studie meegenomen sectoren. Het berekenen van deze overlap was een lastige klus, zoals wordt toegelicht in voetnoot 28.

Kosteneffectief procentueel besparingspotentieel bij een systeembenadering

Aangedreven systemen zijn onderverdeeld naar industrie *versus* dienstensector, en naar stromingssystemen *versus* overige systemen. Ieder kwadrant in deze matrix is voorzien van een min of meer *gewogen-gemiddeld* procentueel besparingspotentieel. De gekozen hoogte ervan komt nu niet voort uit eigen berekeningen, maar eerder uit een vergelijking van diverse (internationale) onderzoeken. **Tabel 11** toont de gekozen percentages. Gewogen voor de onderscheiden systeemtypen, ligt er een besparingspotentieel van 22% en 14% binnen de industrie en de dienstensector. Gewogen voor deze sectoren, levert dit bijna 20% besparing op het elektriciteitsverbruik van de elektrische aandrijfsystemen in deze sectoren.

Absoluut besparingspotentieel bij een systeembenadering

Wanneer de gehele industriële en dienstensector wordt beschouwd, ligt het besparingspotentieel rond de 9 TWh (33 PJ). Dit is ongeveer 11% van het totaal elektriciteitsverbruik van deze sectoren en 8% van het totaal elektriciteitsverbruik van Nederland (115 TWh, 2016).

De Green Deal volgens de strikte omschrijving van de hoofddoelgroep (de industriële bedrijven binnen de MJA/ETS convenanten), neemt met 3,0 TWh (11 PJ_finaal), 33% van dit potentieel voor haar rekening.

Overlap met andere beleidsinstrumenten

Dit is geen nieuw potentieel en heeft deels overlap met andere energy efficiency trajecten. Een aanpak als de Green Deal probeert de *barriers* benoemd in paragraaf 3.2 te overwinnen, waardoor dit potentieel daadwerkelijk wordt geogst. Bovendien wordt een pakketbenadering gepromoot, waarmee bedrijven worden verleid een stap verder te gaan dan gebruikelijk.

Overige voordelen systeembenadering

Naast de extra elektriciteitsbesparing, is een systeembenadering positief voor de arbeidsmarkt, omdat een systeembenadering complexer van aard is dan enkel het vervangen van een elektromotor. Met een reductie van 8% op het totaal elektriciteitsverbruik van Nederland, zal de basisvraag van de elektriciteitsproductie significant beïnvloed worden.

Referenties

Abeelen, C. J. *MJA en ETS dekking Green Deal elektromotoren*. 2016.

Almeida, A.T.d. (2012): *Beyond Induction Motors LOT-30 New EU Ecodesign Study.*, Page 11, (2012), http://www.motorsummit.ch/data/files/MS_2012/presentation/Motor-Summit-Lot30-Super-Premium-Dec-2012.pdf.

Almeida, A. T. de : *Worldwide increasing share electricity consumption electric motors*. December 3, 2016.

Almeida, A.T.d., P. Fonseca, P. Bertoldi (2003): *Energy-efficient motor systems in the industrial and in the services sectors in the European Union: characterisation, potentials, barriers and policies*, 2003.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544202001603>.

CBS (2012): *SBI - Standaard Bedrijfsindeling.*, (2012), <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/methoden/classificaties/overzicht/sbi/default.htm>.

Dijk, G.v. (2013): *Welke subsidies zijn er voor Industriële energieprojecten.*, (2013), http://www.engineeringnet.nl/detail_nederland.asp?id=10552&titel=Welke%20subsidies%20zijn%20er%20voor%20Industriele%20energieprojecten%20-%20artikel.

ECN (2016): *Nationale Energieverkenning 2016.*, (2016), <https://www.ecn.nl/nl/energieverkenning/>.

EMSA (2014): *Policy Guidelines for Electric Motor Systems Part 2: Toolkit for Policy Makers*, 2014.
https://www.motorsystems.org/files/otherfiles/0000/0173/policy_guidelines_oct2014.pdf.

EU JRC (2016): *Motor Challenge Programme.*, (2016), <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge>.

GIZ (2014): *Executive Summary Capacity Building Workshops on Energy Efficient Motors and Drives in Semarang and Surabaya*, 2014.

IEA (2015): *Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems*, 2015.
https://www.motorsystems.org/files/otherfiles/0000/0184/4e_roadmap_for_motors_and_vfd_oct2015.pdf.

IEA (2017): *World Energy outlook 2016*, 2017.

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExecutiveSummaryEnglish.pdf>.

IETD (2015): *Motor Systems*, 2015. http://ietd.iipnetwork.org/content/motor-systems?utm_source=CleverReach&utm_medium=email&utm_campaign=10-10-2012+EMSA+NEwSletter+no.+3%2F2012&utm_content=Mailing_4851145#technology-resources.

ISO (2016): *Introduction to ISO 50002: how it fits in ISO 50001.*, (2016), http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/document/s/events/iso_50002_and_the_iso_50001_family_of_standards_-_iso.pdf.

JICA & PT.EMI (2009): *Market Survey on Industrial Motors*, 2009.

Jong, T.S.d. (2012): *Savings potential available in Industrial Motor Systems.*, Unpublished.

Keulenaar, H.d., R. Belmans, E. Blaustein, D. Chapman, A.T.d. Almeida, B.de. Wachter, P. Radgen (2004): *Energy Efficient Motor Driven Systems*, 2004. <http://copperalliance.org.uk/docs/librariesprovider3/pub-176-energy-efficient-motor-driven-systems-pdf.pdf?Status=Master&sfvrsn=0>.

MachineDesign (2017): *Motors for efficiency: permanent-magnet, reluctance, and induction motors compared.*, (2017), http://beta.machinedesign.com/motorsdrives/motors-efficiency-permanent-magnet-reluctance-and-induction-motors-compared?utm_test=redirect&utm_referrer=.

McKane, A. & A. Hasanbeige (2010): *Motor Systems Efficiency Supply Curves (UNIDO)*, (2010).

Menkveld, M. (2016): *Energiemanagementsystemen in de utiliteitsbouw.*, (2016), <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-N--16-003>.

Mete, M.H. (2016): *Electric Motors Inventory Analysis in Turkey.*, (2016).

PNNL (2016): *A Guide to Energy Audits.*, (2016), http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-20956.pdf.

RVO (2014a): *Brochure Efficiënte Elektrische Aandrijvingen*, 2014a. https://www.rvo.nl/sites/default/files/Brochure_EEA_juli_2014.pdf.

RVO (2014b): *Energieprijzen Utiliteitsbouw versie 2011_0*. Anon., Anon. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/04/Energieprijzen%20Utiliteitsbouw%20versie%2016-04-2014.xls>.

RVO (2016a): *Energie Investeringsaftrek (EIA). Energielijst 2016*, 2016a. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Energie%20Investeringsaftrek%20-%20Energielijst%202016.pdf>.

RVO (2016b): *Green Deal Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen in de industrie (EEA)*, 2016b. <http://www.greendeals.nl/wp-content/uploads/2015/04/B133-Green-Deal-Effici%C3%ABnte-Elektrische-Aandrijfsystemen-in-de-industrie.pdf>.

Sipma J.M. (2016): *Energy efficient electric motor systems in Indonesia.*, (2016), <https://www.ecn.nl/collaboration/ee-motors-indonesia/>.

Sipma J.M. (2017a): *Elektromotoren efficiënter maken scheelt wereldwijd 200 kolencentrales.*, (2017a), <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/elektromotoren-efficiënter-maken-scheelt-wereldwijd-200-kolencentrales/>.

Sipma J.M. (2017b): *More efficient electric motors could mean plans for 200 coal-fired power plants around the world can be scrapped.*, (2017b), <https://www.ecn.nl/news/item/more-efficient-electric-motors-could-mean-plans-for-200-coal-fired-power-plants-around-the-world-can-1/>.

Sipma, J.M. (2015): *Pay-back Period EE Electric Motors.* Anon., Anon. <https://www.ecn.nl/collaboration/ee-motors-indonesia/>.

Sipma, J.M., L.R. Cameron, H. Ambarita (2015): *Energy efficient electric motor systems in Indonesia, mid-term report.*, 2015. <https://www.ecn.nl/publications/ECN-E--15-048>.

U4E (2017): *Accelerating the Global Adoption of Energy Efficient Electric Motors and Motor Systems.*, Unpublished. <http://united4efficiency.org/>.

UNEP-GEF (2017): *Accelerating the Global Adoption of Energy Efficient Electric Motors and Motor Systems.*, Unpublished. <http://united4efficiency.org/>.

Uneto-VNI (2011): *Nieuwe regelgeving op het gebied van elektromotoren*, 2011. <https://www.uneto-vni.nl/stream/energie-efficiëntere-elektromotoren>.

UNIDO (2011): *Energy efficiency in electric motor systems: technical potentials and policy approaches for developing countries*, 2011. http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Research_and_Statistics/WP112_011_Ebook.pdf.

Waide, P. & C.U. Brunner (2011): *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems (IEA)*, 2011. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_ElectricSystems.pdf.

Werkhoven, van M. *Efficiëntietoename door de jaren heen voor een 45 kW elektromotor.* 2016a.

Werkhoven, van M. *Resultaten Green Deal projecten.* 2016b.

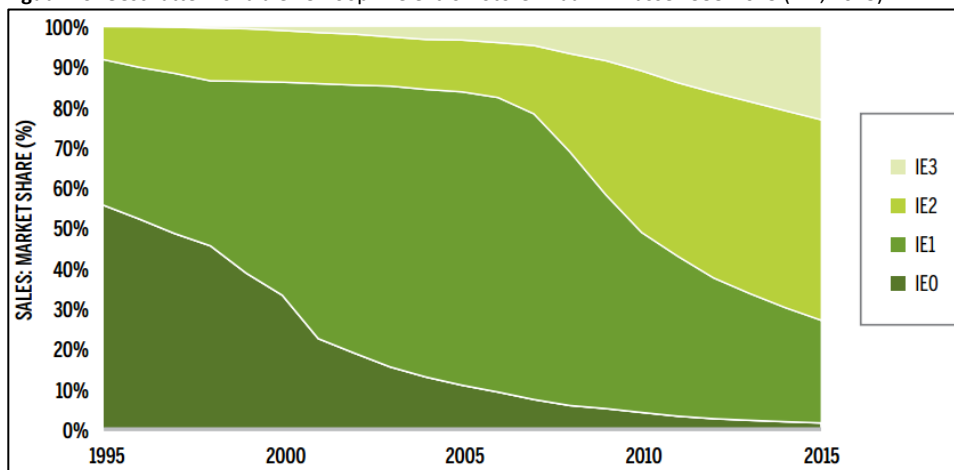
Werkhoven, v.M., H. Heemskerk, A. Braakman (2016a): *Green deal Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen maakt bedrijven rendabeler.*, 2016a. <http://www.greendeals.nl/wp-content/uploads/2015/04/eindrapport-Green-Deal-Efficiënte-Elektrische-Aandrijvingen-in-industrie-.pdf>.

Werkhoven, v.M., T. Heemskerk, A. Braakman (2016b): *Resultaten Green Deal Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen 2012-2015*, 2016b.

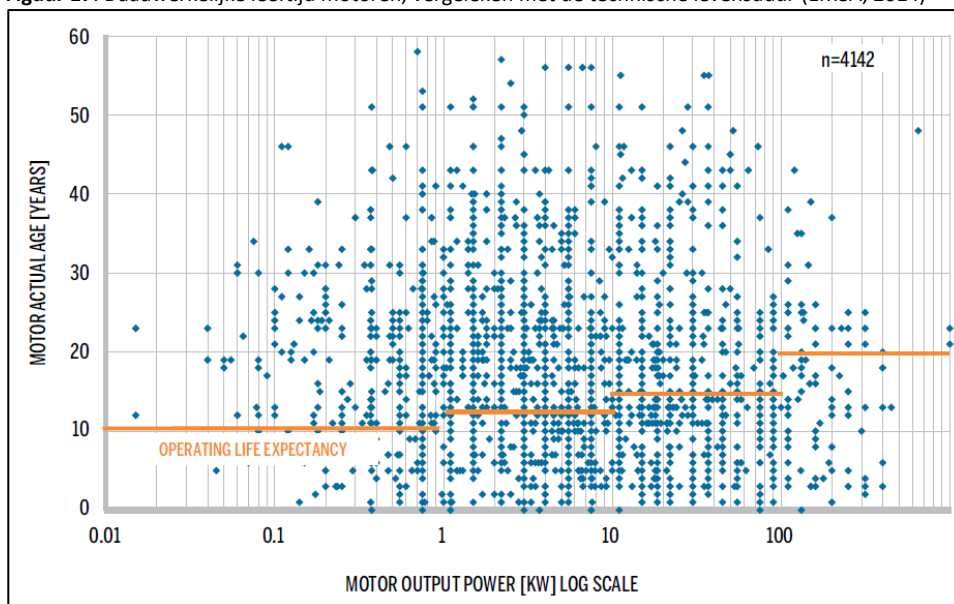
Bijlage A.

Analyse mondiale elektromotorenpark naar IE-klassen

Figuur 16: Geschatte mondiale verkoop in elektromotoren naar IE-klasse 1995-2015 (IEA, 2015)³⁴



Figuur 17: Daadwerkelijke leeftijd motoren, vergeleken met de technische levensduur (EMSA, 2014)



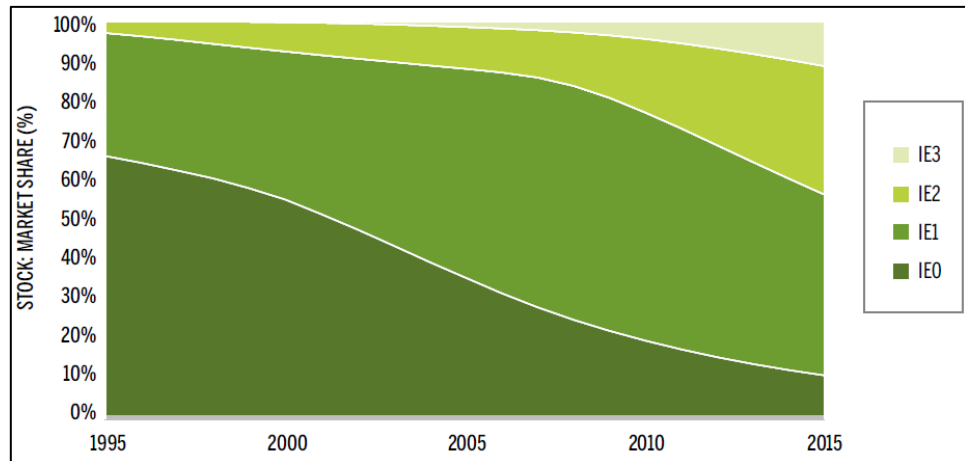
Op het moment worden er meer IE2 motoren verkocht dan IE1, zoals **Tabel 4** toont. Echter, vanuit **Figuur 17** blijkt dat zeer veel motoren ver voorbij hun technische levensduur nog in gebruik zijn. De figuur geeft een analyse van de leeftijd van ruim 4000

³⁴ De mondiale verkoop van IE3 ligt volgens deze figuur in 2007 rond de 13%. Interessant om te vermelden is dat deze toentertijd in de US en Canada op respectievelijk 30% en 39% lag (Waide & Brunner, 2011), dus een factor 2,5 hoger. Dit waren de eerste landen die een MEPS voor elektromotoren in de negentiger jaren van de vorige eeuw introduceerden, zie **Figuur 5**. Sinds 2011 is de MEPS aangescherpt op het niveau van IE3, terwijl dit in de EU pas in 2015 plaatsvond. Blijkbaar was er voor die tijd al zo'n bewustwording gecreëerd, dat IE3 veelvuldig verkocht werd.

elektromotoren in de Zwitserse industrie; vele motoren opereren al meer dan 20 jaar lang (EMSA, 2014).

Deze twee gegevens gecombineerd, levert **Figuur 18**, waarin de geschatte mondiale elektromotorenvoorraad wordt gegeven naar IE-klasse over de periode 1995-2015. Hieruit volgt dat IE0 en IE1 gezamenlijk zo'n 53% van de het elektromotorenpark innemen, IE2 is goed voor ongeveer 35% en IE3 voor de resterende 12%. Het aandeel IE4 zal nog zeer klein zijn.

Figuur 18: Geschatte mondiale motorvoorraad naar IE-klasse 1995-2015 (IEA, 2015)



De US en Canada zijn hierop positieve uitzonderingen, zoals **Figuur 5** liet zien. Aangezien deze landen ruim 22% van het mondiale elektriciteitsverbruik voor hun rekening nemen, willen we hiervoor corrigeren. We gaan er van uit dat het aandeel IE3 motoren binnen het motorenpark van deze landen een factor 2,5 hoger ligt, net als de eerder genoemde verkoopcijfers van IE3; dus $2,5 \cdot 12\% = 29\%$. Na bewerkingen, wordt in **Tabel 13** een schatting gemaakt van de mondiale motorvoorraad naar IE-klasse, minus USA en Canada. Wanneer we dit correct hebben gedaan, is de conclusie dat bijna 60% van het mondiale elektromotorenpark, buiten de US en Canada om, uit E0 en IE1 elektromotoren bestaat.

Tabel 13: Geschat mondiale elektromotorenpark naar IE-klasse, minus USA en Canada, vanaf 0,75kW

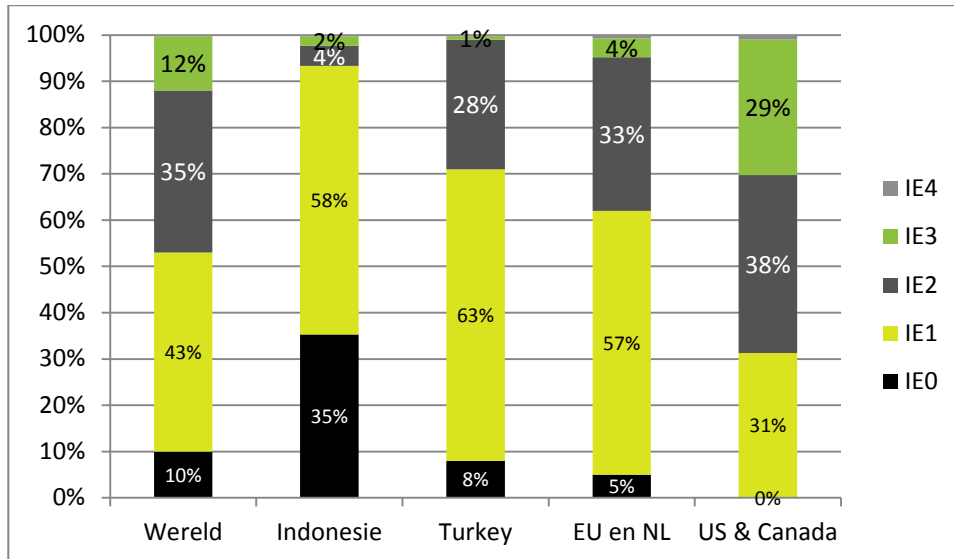
IE-klasse	Marktaandeel Wereld - USA & Canada	Cumulatief Wereld - USA & Canada
IE0	13%	13%
IE1	46%	59%
IE2	34%	93%
IE3	6,7%	100%
IE4	0,1%	100%

Aanname opbouw elektromotorenpark EU en Nederland naar IE-klasse 2016

Met de in paragraaf 4.2 vermelde puzzelstukjes voor de opbouw naar IE-klassen van diverse regio's, is een Sudoku ingericht waarmee **Figuur 14** als mogelijke oplossing kon worden geproduceerd. Deze figuur deelt het elektromotorenpark van de eerder

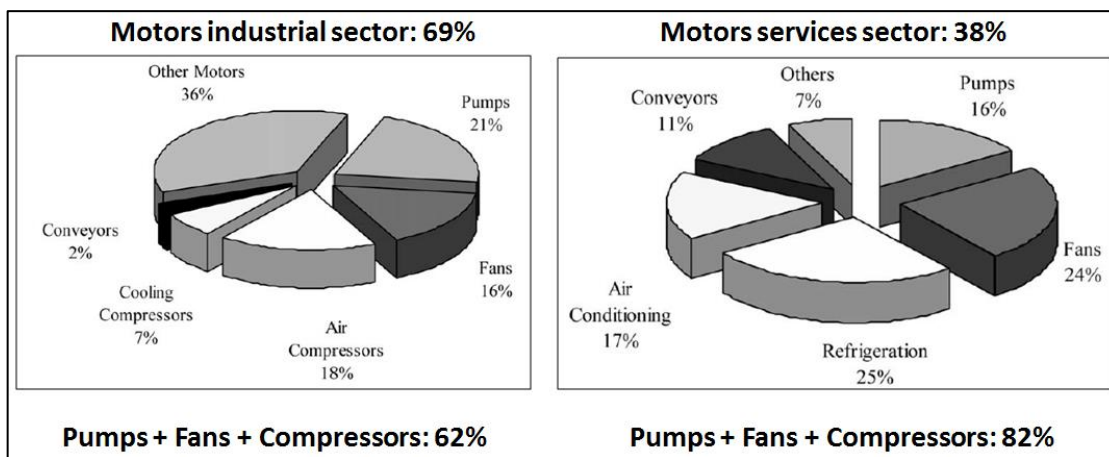
behandelde regio's op naar de onderscheiden IE-klassen. De eerste balk is de mondiale situatie in 2016, als extrapolatie van **Figuur 18**. Vanaf Indonesië naar de US verbetert de situatie en neemt het aandeel efficiënte motoren toe. In Indonesië is het aandeel IE0+IE1 met bijna 95% het hoogst, gevolgd door Turkije (net 70%) en de EU (ruim 60%). In de US en Canada, waar een MEPS op het niveau van IE2 al in 1997 werd geïntroduceerd (zie **Figuur 5**), ligt dit percentage net boven de 30%. Voor de rest van de analyse gaan we er van uit dat de situatie in de EU ook geldt voor Nederland.

Figuur 14 (herhaling): Aandeel elektromotorenpark naar IE-klassen voor vier onderscheiden regio's, vanaf 0,75 kW, 2016



Bijlage B.

Door elektromotoren aangedreven systemen binnen de industrie en dienstensector.



In onderstaande tabel wordt voor de industrie en de dienstensector weergegeven welke systemen met elektromotoren worden aangedreven. De industrie is verder opgedeeld naar subsectoren. De eerste 4 kolommen betreffen 'stromingssystemen' waar vaak de eerste focus ligt wanneer het gaat om een systeembenadering (zie paragraaf 2.2).

Tabel 14: Share of electricity consumption electric motors by application (%); (Almeida et al, 2003)

	1	2	3	4	5=1+2+3+4	6	7
Sector	pumps	fans	air com-pressors	cooling com-pressors	First focus	conveyors	other motors
1 Non-metallic mineral	7%	21%	17%	0%	45%	6%	49%
2 Iron and steel	1%	18%	17%	0%	37%	0%	63%
3 Machinery and metal	9%	15%	14%	0%	38%	5%	57%
4 Services sector	16%	24%	26%	17%	83%	11%	7%
5 Food, beverage and tobacco	10%	12%	9%	30%	60%	0%	40%
6 Paper, pulp and print	57%	22%	13%	0%	92%	1%	7%
7 Chemical	26%	11%	28%	6%	71%	3%	27%
Other industry	22%	16%	18%	7%	61%	2%	36%
Total industry sector	22%	16%	18%	7%	61%	2%	36%
Total industry plus services	20%	18%	20%	9%	67%	4%	29%

Een kwalitatieve beschrijving per subsector, rechtstreeks overgenomen van (Almeida et al, 2003), volgt hieronder:

3. Non-metallic mineral sector: Mills, extruders, rollers and large production machinery are responsible for about half of the total motor electricity consumption in this sector, especially in the higher power ranges. Since most of the factories operate continuously, the average number of operating hours is high.
4. Iron and steel: The steel sector includes two types of operation: steel making and forming. Motors related to steel forming in rolling mills, sanding, casting and finishing, account for the largest share of motor electricity consumption. In steel making, pumping for cooling and fans for dust extraction are important loads in terms of electricity savings potential. Fans, which are excellent candidates for VSDs, are the second largest energy users, and are mainly used for dust and waste gas extraction and for air blowing.
5. Machinery and metal: Pumps, fans and compressors only represent 38% of the total motor electricity consumption. Machine tools, handling equipment, robotic systems, cranes and process machinery have the largest share of motor consumption (63%). All motors, especially motors below 0.75 kW have low load factors, resulting in a significant drop in efficiency.
6. Food, beverage and tobacco: Pumps, fans and compressors represent 60% of the motor electricity consumption, of which about half are for cooling compressors. When assessing the savings potential, the application of VSDs was only considered for variable loads of centrifugal type. Other motors include mixers, conveyor belts, packaging machines and processing machines. Motors up to 4 kW are significantly oversized, being particularly good candidates to be replaced with smaller EEMs when they fail. They represent an attractive opportunity for electricity savings, because of the relatively larger efficiency difference between standard and EEMs for motors up to 4 kW.
7. Paper, pulp and print: Centrifugal loads (pumps, fans and compressors) use about 92% of the motor electricity consumption in this sector. Pumps are by far the most important type of motor load, accounting for 57% of the total motor electricity consumption. The average number of operating hours is high
8. Chemicals: Pumps, fans and compressors represent about 71% of the total motor electricity consumption in this sector. This high share of controllable loads is responsible for the large savings potential identified in this sector. Motors above 130 kW are responsible for 63% of the total motor electricity consumption. Note that this coincides with a remark of ABB; they sell as well the larger motors to the chemical industry. Mixers, stirrers, agitators and dispersers are common motors in chemical plants.
9. Services sector: Pumps, fans and compressors are by far the most important loads in the commercial sector, accounting for 83% of the total motor electricity consumption. Most motors, especially small motors are oversized. Motors up to 30 kW represent about 86% of the motor electricity consumption, making them a specific target when evaluating the energy savings with EEEMs.

Bijlage C.

Studie besparingspotentieel systeembenaderingen elektromotoren in Nederland

Via literatuurstudie en voornamelijk expert-consultaties heeft (Jong, 2012) technische en kosteneffectieve besparingspotentiëlen berekend voor onderstaande maatregelen voor ventilatiesystemen (**Tabel 15**), pompsystemen (**Tabel 16**) en compressiesystemen (**Tabel 17**).

Uitleg bij de tabellen volgens (Jong, 2012):

- The energy savings describe the energy savings as a percentage of the current energy use. The energy savings of each measure is described as if they are applied to a case individually.
- The applicability of energy savings measure describes the difference between the maximum penetration and the current penetration of an energy saving measure.
- The product of these two factor give the contribution to the savings potential of that system.

Tabel 15: Door (Jong, 2012) doorgerekende maatregelen voor ventilatiesystemen

Fans			
	Energy savings [%]	Applicatbility [%]	Potential contribution [%]
Installation of Variable Speed Drives (VSD)	35%	60%	21%
Replace fan with optimal sized fan	15%	65%	10%
Rational design of ducting	12%	65%	8%
Replace fan with higher efficiency fan	15%	40%	6%
Initiate predictive maintenance program	5%	90%	5%
Installation of IE4 motors	4%	100%	4%
Installation of IE3 motors	3%	97%	2%
Correct poor airflow conditions	4%	35%	1%
Correct damper problems	5%	15%	1%
Repair or replace inefficient belt drives	5%	10%	1%
Clean fan	2%	25%	0%

Tabel 16: Door (Jong, 2012) doorgerekende maatregelen voor pompsystemen

Pumps			
	Energy savings [%]	Applicatbility [%]	Potential contribution [%]
Installation of Variable Speed Drives (VSD)	25%	70%	18%
Replace pump with optimal sized pump	15%	65%	10%
Use pressure switches to shut down unnecessary pumps	15%	40%	6%
Installation of IE4 motors	4%	100%	4%
Initiate predictive maintenance program	3%	90%	3%
Fix leaks, damaged seals and damaged packings	5%	50%	3%
Installation of IE3 motors	3%	97%	2%
Replace pump with higher efficiency pump	3%	75%	2%
Remove air out of system	5%	40%	2%
Small infrastructural changes	5%	40%	2%

Tabel 17: Door (Jong, 2012) doorgerekende maatregelen voor compressiesystemen

Air compressors			
	Energy savings [%]	Applicatbility [%]	Potential contribution [%]
Installation of compressor management system	25%	65%	16%
Fix leaks	20%	75%	15%
Improving the compressed air distribution network	10%	100%	10%
Replace compressor with optimal sized compressor	15%	65%	10%
Lower system pressure	10%	80%	8%
Installation of Variable Speed Drives (VSD)	15%	50%	8%
Recuperation of waste heat	20%	33%	7%
Installation of air savers	10%	50%	5%
Initiate predictive maintenance program	5%	90%	5%
Installation of IE4 motors	4%	100%	4%
Replace air compressor with higher efficiency air compress	5%	70%	4%
Installation of IE3 motors	3%	97%	3%
Improve air treatment equipment	5%	50%	3%
Shut down compressor when production stops	5%	10%	1%

Uitleg bij Tabel 18 volgens (Jong, 2012):

Based on the contribution of energy saving measures in combination with its associated costs the most economically attractive energy saving measures are identified. The below table indicates the most economically attractive energy saving measures in descending order of importance. The table makes a distinction between the most economically attractive energy saving measures applied to an operational system and applied to a system subject to overhaul. Energy saving measures applied during a system overhaul can be applied more profitable due to lower application costs.

Tabel 18: Door (Jong, 2012) geïdentificeerde meest kosteneffectieve maatregelen voor de drie onderscheiden systemen

Most economically attractive energy saving measures		
	Retrofit application to an operational system	Application to a system subject to overhaul
Air compressors	- Fix leaks	- Replace compressor with optimal sized compressor
	- Lower system pressure	- Install a compressor management system in combination with application of a VSD
		- Improve compressed air distribution network
		- Replace compressor with higher efficiency air compressor within power range 130 kW to 500 kW. (this refers to replacement of (multi stage) rotary screw compressors within this power range by turbo compressors)
		- Recuperation of waste heat
Pumps	- Installation of a VSD	- Replace pump with optimal sized pump
	- Use pressure switches to shut down unnecessary pumps	
Fans	- Installation of a VSD	- Replace fans with optimal sized fans
		- Replace fans with higher efficiency fans



ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 ZG Petten

T 088 515 4949
F 088 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl

