

Best Practice Vacuümsystemen

1. Inleiding

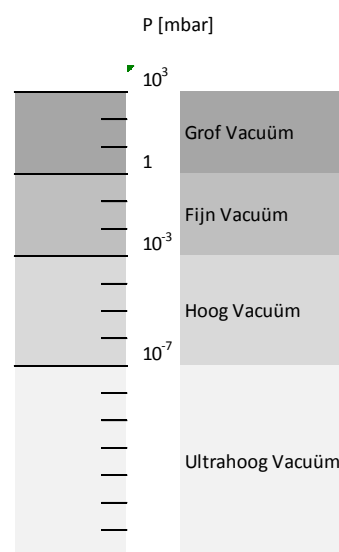
Vacuümsystemen worden in diverse sectoren van de industrie veelvuldig toegepast. Voorbeelden hiervan zijn vacuümverpakken, vacuümdestillatie, pneumatisch transport en vacuümcondensors. De chemische industrie vormt tezamen ongeveer 1/3 van de markt voor vacuümapparatuur, maar beweegt zich hoofdzakelijk in het gebied van het grof vacuüm.

Om behulpzaam te zijn bij het verhogen van de energie efficiëntie van vacuümsystemen worden in deze brochure de diverse vacuümpompen toegelicht en worden enige toepassingen in de chemische industrie aangegeven. De nadruk ligt op de energiebesparingsmogelijkheden voor de systeemcomponenten bij nieuwe en bestaande installaties.

Vacuümsystemen worden onderverdeeld in vier categorieën:

- Grof vacuüm, van 1 tot 1000 mbar (abs), industrie
- Fijn vacuüm, van 10^{-3} tot 1 mbar (abs), industrie
- Hoog vacuüm, van 10^{-7} tot 10^{-3} mbar (abs), industrie en wetenschap
- Ultrahoog vacuüm, minder dan 10^{-7} mbar (abs), wetenschap.

In het algemeen worden in de chemische industrie alleen grof en fijn vacuüm toegepast. Toepassingen van grof vacuüm zijn: pneumatisch transport, vacuümverpakken, destillatieprocessen, filtratie, kristallisatie, verdamping, drogen en ontwateren van slurries. Fijn vacuüm wordt in de chemie veel minder toegepast. Een voorbeeld hiervan is vriesdrogen. Hoog en ultrahoog vacuüm valt buiten het bestek van deze best practice.



Figuur 1: Vacuümcategorieën [1].

2. Vuistregels

Hier worden enkele vuistregels over gegeven voor ontwerpkeuzes bij vacuümpompen.

- Het energiegebruik van vacuümsystemen bestaat uit arbeid ([aandrijving pomp](#)) of kinetische energie (stoom, perslucht). Sommige systemen gebruiken daarnaast nog water als koel- en afdichtingsmedium. Voor diepkoeling wordt er daarnaast ook vloeibaar stikstof toegepast.
- Het energiegebruik wordt veroorzaakt door compressiearbeid (direct/indirect voor respectievelijk pompen en ejecteurs), verliezen in de pomp (wrijving, aandrijving, etc.) en lekverliezen.
- Lekverliezen bij vacuümpompen treden vooral op bij contactvrije, [drooglopende uitvoeringen](#). Hier is er dus geen wrijving tussen de bewegende delen van de pomp.
- De verliezen in de elektromotor zijn minder dan 5%.
- Het energiegebruik per systeem zal sterk verschillen ten gevolge van onderscheid in [capaciteit en gewenste drukniveau](#).
- Tevens dient men er rekening mee te houden dat een vacuümsysteem dat buiten zijn (ontwerp)werkgebied functioneert, een relatief hoog energiegebruik zal hebben. Bij een vacuümpomp kan bedrijfsvoering onbetrouwbaar worden en er is kans op oververhitting en overbelasting van de aandrijfmotor.

- Pompen zonder interne compressie ([Roots- en schroefpompen](#)) zullen een lager energiegebruik hebben dan verdringerpompen. Er bestaat een tendens om ejecteurs en waterringpompen te vervangen door typen als Roots- of schroefpompen. In het algemeen hebben oliegesmeerde pompen een lager energiegebruik dan drooglopende pompen.
- Minimaliseer het [drukverlies](#) in de leidingen. Naast korte leidinglengtes dient men de diameters van leidingen en appendages niet te krap te kiezen. Een ringleiding kan de energieverliezen en drukschommelingen beperken. Selecteer vacuümfilters met een laag drukverlies
- Kies einddruk niet lager dan voor het proces vereist. Kies ook een daarbij passende vacuümpomp, een pomp met een te hoge capaciteit is niet energie-efficiënt
- Pas een condensor toe indien de gassen condenseerbare damp bevatten. De vacuümpomp hoeft dan geen condensaat te verpompen, c.q. wordt beschermd tegen condensvorming in het pomphuis
- Overweeg het toepassen van een [toerenregeling](#) op de vacuümpomp om de capaciteit optimaal aan de vraag aan te passen
- Overweeg het opstellen van een centraal systeem in plaats van diverse decentraal opgestelde vacuümpompen. Dit is echter slechts toepasbaar indien het vereiste drukniveau voor alle gebruikers hetzelfde is
- Denk bij vooral gecentraliseerde systemen aan het terugwinnen van vrijkomende warmte bij de vacuümpompwerking voor bijvoorbeeld ruimteverwarming of voorverwarming van andere processen.

3. Componenten van het Vacuümsysteem

Vacuümsystemen bestaan uit de volgende componenten:

- Opwekking (pompen met regeling, eventueel koeling en filtratie)
- Distributie (leidingnet)
- Toepassing (proces).

3.1 Typen vacuümpompen

Naar hun werkingsprincipe zijn de vacuümpompen in drie hoofdgroepen te verdelen (zie ook tabel 1):

1. Verdringerpompen:
Werking berust op het mechanisch afzonderen van een deel van het gas uit de vacuümkamer, deze hoeveelheid wordt vervolgens gecomprimeerd en afgevoerd naar de buitenlucht.
2. Kinetische pompen:
Werking berust op overdracht van impuls tussen gas en vast oppervlak (centrifugaal krachten door schoepen van pomp) of tussen gasstromen met verschillende snelheden (venturi effect in straalbuis van ejecteur).
3. Absorptiepompen
Werking berust op fysische absorptie van een gas in een gekoeld medium waar de meest voorkomende gasmoleculen kunnen worden opgenomen.

Soort	Principe	Pomp
Verdringerpompen	Lineair bewegend	Zuigerpomp Membraanpomp
	Rotatie	Vloeistofringpomp Rootsblower Schroefpomp Klauwerpomp Draaizuigerpomp
Kinetische pompen	Ejecteurs	Vloeistofstraal Damp- en gasstraal
	Mechanisch	Centrifugaalventilator Axiaalventilator Zijkanaalventilator
Adsorptiepompen	Adsorptiepomp	Adsorptiepomp

Tabel 1: Typen vacuümpompen

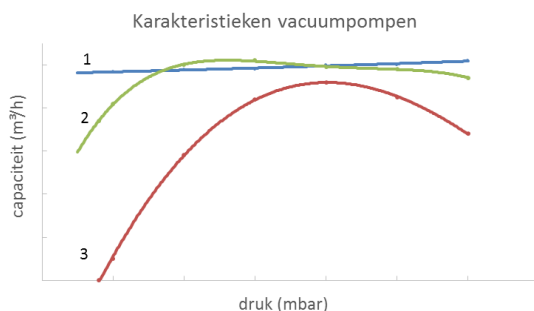
Een globaal overzicht van de kenmerken van de diverse uitvoeringen wordt gegeven in tabel 2.

Pomptype	Voordelen	Nadelen
Zuigerpomp	Eenvoudig principe	Bij hoge capaciteit zwaar en groot
Membraanpomp	Eenvoudig principe; Geschikt voor agressieve media	Lage capaciteit; slijtage membraan
Draaischuif-/schottenpomp	Nagenoeg trillingsvrij; Geschikt voor frequentieregeling	Verontreiniging van olie; Olivrije variant gevoelig voor verontreinigingen
Draaizuigerpomp	Contactvrij; Robuust; Bestand tegen verontreinigingen	Zwaar; Veel trillingen; Duur
Rootsblower	Contactvrij; Geen interne compressie; Geschikt voor frequentieregeling; energiezuinig	Temperatuurverschillen begrensd door kleine spelingen; Gevoelig voor vervuiling
Schroefpomp	Contactvrij; Geen interne compressie; Vloeistofverdraagzaam; Geschikt voor frequentieregeling; Chemisch resistent	Hoge temperaturen; Koeling soms noodzakelijk
Klauwerpomp	Contactvrij; Energiezuinig; vloeistofverdraagzaam	Hoge temperaturen; Koeling noodzakelijk
Schuifpomp	Contactvrij; Compact; Energiezuinig	Niet geschikt voor vervuilde gassen; Niet vloeistofverdraagzaam

Vloeistofringpomp	Lage uittredetemperatuur; Explosie veilig; gaswasser; Bestand tegen verontreinigingen; Vloeistofverdraagzaam; Contactvrij	Kost meer aan energie; Afwalwaer of koeling nodig; Druk begrensd door cavitatie
Vloeistofringpomp (magnetische koppeling)	Additioneel: geen lekkage; geen wrijving; weinig onderhoud;	Duurder dan normale vloeistofringpomp; eddy-current verliezen;
Vloeistofstraalpompe	Eenvoudig; Goedkoop; Betrouwbaar; Geschikt voor corrosieve en verontreinigende gassen	Hoog energie- en watergebruik; Afvalwater
Stoom- en gasstraalpompe	Eenvoudig; Betrouwbaar; Goedkoop; Geschikt voor corrosieve en verontreinigende gassen	Hoog energiegebruik; Gas- of stoomverbruik; Emissies of afvalwater
Adsorptiepomp	Schoon	Explosiegevaar bij actief kool; Lichte [edel-]gassen adsorberen moeilijk
Axiaalventilator	Contactvrij; Goedkoop; Geschikt voor frequentieregeling	Gevoelig voor vervuiling door aanzuiglucht
Centrifugaalventilator	Contactvrij; Goedkoop; Geschikt voor frequentieregeling	Gevoelig voor vervuiling door aanzuiglucht
Zijkanaalventilator	Contact; Goedkoop; Geschikt voor frequentieregeling	Temperatuur kan te hoog worden

Tabel 2: Kenmerken industriële vacuümpompen.

Figuur 2 geeft aan op welke wijze de karakteristieken van de meest gebruikte typen van elkaar verschillen.



Figuur 2: Pompkarakteristieken: 1. Draaischuif- en draaizuigerpompen, 2. Vloeistofringpompen, 3. Ejecteurs en rootspompen [1].

Oliegesmeerde en drooglopende vacuümpompen

Het verschil in uitvoering van vacuümpompen, meer bepaald smering, koeling en afdichting, zal hier kort worden beschreven

- Oliegesmeerde vacuümpompen

Olie wordt gebruikt voor afdichting, koeling, smering, bescherming tegen vervuiling en vullen van schadelijke ruimte tussen uitlaatklep en pomphart. Deze olie wordt geheel of gedeeltelijk gerecirculeerd.

- Drooglopende contactvrije vacuümpompen
Uitvoeringen zoals de rootspomp en schroefpompen zijn contactvrij en kunnen worden aangedreven zonder tandwielen waardoor er geen smering benodigd is. Er zijn ook uitvoeringen bekend waar smering gebruik gemaakt wordt van andere smeermiddelen zoals koolstof.

Pompregingen

Een vacuümsysteem met meerdere pompen en verbruikers dient een regeling te hebben om de opwekking (c.q. drukverlaging) af te stemmen op de vraag. Daartoe staan de volgende mogelijkheden ter beschikking:

- frequentieregeling
- cascaderregeling
- smoring met regelklep
- extra gasinlaat
- bypass regeling.

De frequentieregeling heeft de hoogste energie-efficiency. De capaciteit van de pomp wordt aangepast aan de procesvraag, waarbij de drukvariatie zeer klein is.

Bij de mechanisch-kinetische pompen kan met frequentieregeling ook het toerental verhoogd worden waardoor het rendement toeneemt.

Deze regeling is in het bijzonder geschikt voor draaischuifpompen, schroefpompen en Rootspompen. Bij schroefpompen is het rendement zelfs vrijwel constant voor het regelgebied.

Bij waterringpompen is het regelgebied beperkt ten gevolge van het feit dat beneden een bepaald toerental de waterring niet meer stabiel is.

Bij de cascaderregeling worden meerdere pompen naar behoefte parallel in of uit bedrijf genomen. De investering

kan bij meerdere pompen zelfs hoger zijn dan bij een pomp met frequentieregeling, terwijl het rendement lager is

omdat niet altijd de inzet van de pompen optimaal is.

De smoorregeling is een van de minst kostbare regelingen, en in vacuümsystemen de minst energieverpillende na de frequentieregeling. De regeling vindt plaats door met een regelklep in de aangezogen gas- of luchtstroom het debiet aan te passen aan de vraag. Daar staat tegenover dat het vinden van een goede regelklep, geschikt voor vacuümsystemen, nog steeds een probleem vormt.

Met de extra gasinlaat wordt het debiet van de aangezogen gas- of luchtstroom aan de vraag aangepast door "valse lucht" in het systeem toe te laten. Als regeling is dit energetisch gezien één van de minst aantrekkelijke.

3.2 Koeling

Bij een vacuümsysteem kan koeling vereist zijn op de volgende plaatsen:

- in de pomp
- aan de inlaatzijde
- aan de uitlaatzijde.

De warmte ontstaat tengevolge van compressie en door wrijving.

Verdringerpompen worden dus warmer dan rootsblowers en kinetische pompen.

Koeling van de pomp vindt meestal plaats door omgevingslucht die langs de koelribben van het pomphuis stroomt. Dit wordt ook bereikt met watergekoelde pomphuisen.

Daarnaast kan met het koelmiddel (water, olie of dergelijke) van de pomp ook de warmte afgevoerd worden.

Het verdient aanbeveling om na te gaan of die warmte elders nog te gebruiken is, denk bijvoorbeeld aan lokale ruimteverwarming.

Een bijkomend voordeel van vloeistofkoeling is dat door de dempende werking de pomp een lagere geluidsemisatie zal hebben dan met luchtkoeling.

Koeling aan de inlaatzijde is nodig indien de temperatuur te hoog is, of de afgezogen lucht (of het gas) condenseerbare dampen bevat. In het laatste geval wil dat zeggen dat een condensor voor de pomp geplaatst wordt. Bij waterringpompen past men dit ook toe omdat de aangezogen lucht bij hogere temperaturen meer waterdamp bevat.

Soms moet het gas of de lucht aan de uitlaatzijde nagekoeld worden. Ofwel, omdat men de omgeving niet te veel wil opwarmen, of omdat men om veiligheidsredenen beneden een bepaalde uitlaattemperatuur wil blijven.

3.3 Filtratie

Zoals het in andere systemen noodzakelijk kan zijn om lucht- of gasstromen te filtreren voor een pomp of compressor, is dit ook het geval bij vacuümsystemen. Deze filters moeten corrosieve en andere stofdeeltjes afvangen die anders de vacuümpomp kunnen beschadigen. Hiervoor komen in de eerste plaats cycloonfilters in aanmerking.

Aan de uitlaatzijde kan een speciaal filter noodzakelijk zijn als bijvoorbeeld oliedamp niet in de omgeving terecht mag komen. Hier kan een oliedampfilter dienst doen om olie te verwijderen uit de lucht of het gas.

Om eventueel condensaat uit de leidingen af te voeren, verdient het aanbeveling om op de juiste plaatsen condenspotten aan te brengen.

Bij het ontwerpen van een energie-efficiënte filtratie, moet men uitgaan van een toegestane drukval over het filter van circa 10 mbar bij een grof vacuümsysteem. Bij hoog vacuümsystemen luistert uiteraard het drukverlies in het gehele systeem veel nauwkeuriger.

N.B. ter vergelijking: bij een persluchtfiler is vaak een drukval van 300 mbar toegestaan!

3.4 Distributie

Bij het ontwerpen van een leidingsysteem is het belangrijk om zodanige diameters te kiezen dat de weerstand energetisch gezien optimaal is. Dit betekent in de meeste gevallen dat bij een grof vacuüm de leidingweerstand niet hoger mag zijn dan 50 mbar.

De weerstand is afhankelijk van leidingdiameter, lengte van de leiding, capaciteit en het te realiseren vacuüm volgens de formule:

$$\Delta P = 4,3 \times 10^{-3} \left(\frac{S}{3,6} \right)^2 \times p \times \frac{L}{d^5}$$

waarin:

Δp = drukval in mbar

S = capaciteit vacuümpomp in m³/h

p = vacuüm in mbar (abs)

L = leidinglengte in m

d = leidingdiameter in cm.

Vanzelfsprekend wordt de totale weerstand nog vermeerderd met de weerstand van bochten, kleppen, splitsingen en dergelijke. Het is sterk aan te bevelen om bochten "ruim" uit te voeren en niet met kniestukken.

Ook verdient de aanleg van een leidingstelsel voldoende aandacht.

In het bijzonder dienen bij slangverbindingen speciale afdichtingen (met O-ringen of slangtules) toegepast te worden die geschikt zijn voor vacuüm opdat de lekkages minimaal zullen zijn.

Bij het bedienen van een vacuümsysteem dient men bedacht te zijn op een speciaal fenomeen dat geblokkeerde stroming of "choked flow" genoemd wordt. Dit verschijnsel treedt op wanneer in een systeem de leidingen een te kleine diameter hebben of als er een restrictie in voorkomt. De daardoor optredende drukval kan wel eens zó groot zijn dat de kritische stromingssnelheid bereikt wordt. Het installeren van extra pompcapaciteit heeft geen effect meer.

Een geblokkeerde stroming treedt op wanneer geldt:

$$\frac{P_a}{P_k} = \frac{P_a}{P_a} \Delta P \leq 0,528$$

waarin:

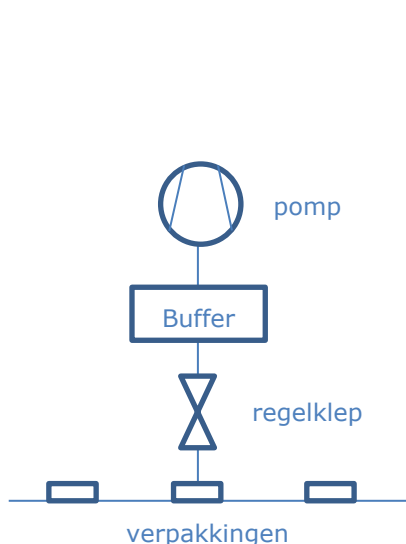
p_a = druk in de aanzuigleiding

p_k = druk in vacuüm te pompen ruimte.

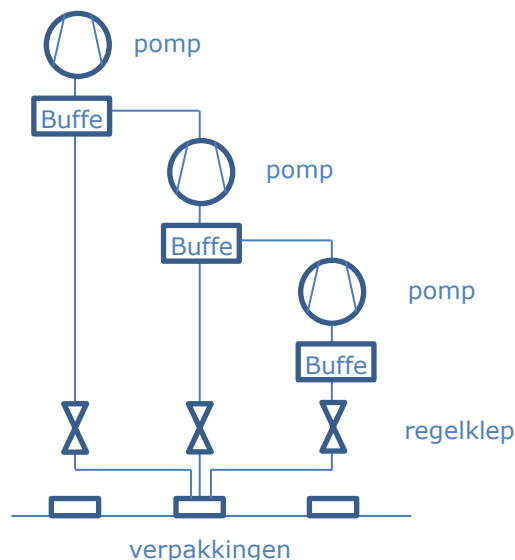
Indien men in een zeer korte tijd een ruimte van atmosferische druk naar vacuüm moet brengen, levert het volgende

een zeer energie-efficiënte oplossing op.

Men kiest dan voor een combinatie van pompen met meerdere leidingen in plaats van één centrale pomp met één leiding, zodat de druk in een aantal stappen verlaagd kan worden. Daarbij worden buffers gebruikt om in een zo kort mogelijke tijd de vacuümruimten te ontgassen (zie voorbeeld) en de figuren 3 en 4.



Figuur 3: Eénleidingsysteem [1].



Figuur 4: Drie-leidingsysteem [1]

4. Overige Energiebesparende maatregelen

4.1 Bestrijden van lekkages

Een min of meer berucht fenomeen in vacuümsystemen is het optreden van lekkages via koppelingen, verbindingen, (draai)doorvoeringen en dergelijke.

Door lekkages zal de effectieve capaciteit van de pomp afnemen, omdat lucht het systeem binnendringt. Bij een lekdiаметer van 1,0 mm is de lekstroom bij een systeemdruk die lager is dan 528 mbar(a), dus bij een geblokkeerde stroming (zie ook punt 4), 0,14 m³/h. Bij een gat van 6 mm is dat al 20,4 m³/h. Het regelmatig controleren op lekken loont de moeite.

Inspecteren van het vacuümsysteem op lekkages en het herstellen daarvan, voorkomt misschien dat men besluit om grotere pompen te installeren.

Enige methoden om lekken op te sporen:

- de inlekmethode. Hierbij wordt de druktoename per tijdseenheid gemeten nadat het systeem eerst vacuüm gepompt is. Hoe sneller de druktoename, des te groter het lek. Een nadeel van deze methode is, dat er ook een druktoename kan zijn ten gevolge van verdampende resten olie of water
- met tracer gas. De betrouwbaarste methode is die met een tracer gas. Dit gas (meestal helium) wordt op (mogelijk lekkende) verbindingen van het vacuümsysteem gespoten en de inlek wordt gemeten via de partiële druk van het gas in het systeem. Er zijn gespecialiseerde firma's op vacuümgebied, die ook zeer ervaren zijn in het opsporen van lekken met behulp van de heliummethode
- ultrasoon. Naar analogie van het opsporen van lekkende condensaatpotten is het ook mogelijk om met een ultrasoondetector het geluid van inlekkende luchtstromen waar te nemen.

4.2 Aandachtspunten bij bestaande installaties

Behalve de punten genoemd in hoofdstuk 5 (met betrekking tot lekkages) gelden voor bestaande installaties nog de volgende aandachtspunten:

- apparatuur die niet (of tijdelijk niet) in gebruik is, afsluiten van het systeem
- overweeg het vervangen van verouderde vacuümpompen. Het verschil in energie-efficiency van 15 jaar oude pompen met de moderne, maakt vervanging vaak haalbaar. Denk hierbij aan klauwen- of (droge) schroefpompen
- voordat men overgaat tot het opstellen van grotere pompen omdat het systeem niet meer voldoet, is het aan te bevelen om eerst na te gaan of de leidingdiameters nog groot genoeg zijn
- planmatig inspecteren en onderhouden van het gehele vacuümsysteem.

5. Aandachtspunten bij nieuwe installaties of renovaties

Bij het ontwerpen van nieuwe installaties of renoveren van bestaande systemen is het noodzakelijk om de procesuitgangspunten eenduidig vast te stellen. Met uitgangspunten worden bedoeld:

- functie van het vacuümsysteem, batch of continu proces
- systeemeisen, zoals vacuümdruk, capaciteit, emissie-eisen en eventuele evacuatie-tijd
- centrale of decentrale installatie
- serie- of parallelschakeling van meerdere pompen
- oliegesmeerde of olievrije pompen.
- zonering van de opstellingsplaats.
- wenselijkheid van condensatie en/of gaswassing vaststellen
- regelnauwkeurigheid van druk en capaciteit.

Nadat bovenstaande punten zijn vastgesteld, is ten aanzien van de uitvoering een aantal aspecten van belang waarbij de energiekosten, c.q. de mogelijkheden voor energiebesparing zeer ruime aandacht verdienen. Ter illustratie: de typische verdeling van de exploitatiekosten voor een schottenpomp is als volgt:

- a. energiekosten 69%
- b. afschrijving 22%
- c. onderhoud 9%.

Andere typen pompen wijken in detail af van deze verdeling maar het energiegebruik ligt toch tussen 60 en 80%.

6. Referenties

Dit is een publicatie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl).

In de periode 2000 - 2002 heeft de VNCI een reeks brochures uitgebracht onder de verzamelnaam "Leidraad voor energie-efficiency". In de reeks worden dertig verschillende bestaande praktische toepassingen beschreven van energiebeheer in chemische bedrijven. Deze publicatie, 'Best Practice Vacuümsystemen' is een actualisering van het document 'Leidraad voor energie efficiency, Procescompressoren', ee3.

De huidige actualisering van de Best Practice is tot stand gekomen in het kader van meerjarenaafspraken energie-efficiëntie MJA3 en MEE. Als onderdeel van de samenwerking met de VNCI is besloten het merendeel van deze Best Practices geactualiseerd opnieuw te publiceren. Deze Best Practice Vacuümsystemen is geactualiseerd met medewerking van Tebodin (www.tebodin.nl) .

De meerjarenaafspraken energie-efficiëntie MJA3 en MEE zijn overeenkomsten tussen de overheid en bedrijven, instellingen en gemeenten. Het ministerie van Economische Zaken (EZ) het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) stimuleren met deze afspraken het effectiever en efficiënter inzetten van energie. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) is verantwoordelijk voor de uitvoering van de meerjarenaafspraken.

Waar geen bronvermelding is aangegeven bij de tabellen en figuren is gebruik gemaakt van het oorspronkelijke document (zie hierboven).

Voor deze brochure is naast het oorspronkelijke document gebruik gemaakt van de volgende bronnen van fabrikanten en leveranciers van procescompressoren;

1. Tebodin, 2015
2. Vacuümsystemen: milieu-aspecten en kosten. Een rapport van Tebodin en RIZA (Rijksinstituut voor integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling).

Weblinks

3. http://www.gastmfg.com/vphb/vphb_s4.pdf
4. http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic_Vacuum_Technology_Principles.pdf
5. <http://www.gardnerdenver.nl/>
6. <http://www.busch.nl/>
7. <http://web.utk.edu/~prack/Thin%20films/VACUUM-4.pdf>

Colofon

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
T +31 (0) 88 042 42 42
F +31 (0) 88 602 90 23
E info@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken (EZ) het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrijkrelaties (BZK) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M)

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | juli 2015

Publicatienummer: RVO-118-1501/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.

Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld kan RVO.nl geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.