



Best Practice Droogprocessen

1. Inleiding

Een van de grootste energie-verbruikende unit operations in de Nederlandse industrie is het drogen. Jaarlijks wordt hierin circa 80 Peta-joules aan energie verbruikt [[ECN, R&D plan 2014](#)]. Drogen wordt in veel verschillende industrietakken toegepast:

- Chemische (katalytische) materialen.
- Detergenten
- Farmaceutica
- Agro- & Foodindustrie
- Papier & houtindustrie
- Genotmiddelen

De hoeveelheid energie benodigd om materialen te drogen wordt bepaald door de binding van het vocht (veelal water, andere gevallen (organische) oplosmiddelen) aan het te drogen product. Water kan in verschillende vormen aanwezig zijn in het materiaal, waarbij voor elke vorm een ander energieniveau noodzakelijk is om dit water te verwijderen uit het product. Dit geeft meteen ook een complicerende factor bij het bepalen van het besparingspotentieel omdat niet al het water met eenzelfde hoeveelheid energie kan worden verwijderd.

2. Vuistregels

In dit document wordt aangegeven welke onderdelen bij drogen belangrijk zijn en hoe de performance van een huidig droogproces kan worden ingeschat. Als achtergrond informatie wordt in paragraaf 3 kort toegelicht wat drogen precies inhoudt en wat er belangrijk is met het oog op energiebesparingen.

- Mechanisch drogen of voor-ontwateren is energetisch gunstiger dan thermisch drogen.
- Direct gasegestookte drogers zijn zuiniger dan indirect verwarmde drogers.
- Drogen bij een hoger temperatuurniveau is zuiniger.
- Grotere drooginstallaties zijn in principe zuiniger dan kleinere.
- Lange runs zijn zuiniger dan korte runs met productwisselingen en opstart en shut-down effecten; continu drogen is zuiniger dan batchgewijs drogen.
- Voorverwarmen van lucht en product is gunstig voor het energieverbruik.
- Kennis van het droogproces (massa en energiebalansen) is essentieel om eenvoudige mogelijkheden voor besparingen te achterhalen.
- Om energieverbruik en mogelijke besparingen te bekijken moeten alle onderdelen van het proces worden beschouwd en beoordeeld.

Het analyseren van een bestaand droogproces wordt in paragraaf 4 bekeken, terwijl paragraaf 5 handelt over besparingen en optimalisaties in een droogproces.

- Intensieve warmteoverdracht tussen lucht en product verbetert energieverbruik, bereikt door lagere uitgaande temperaturen, hogere uitgaande luchtvochtigheid en (gedeeltelijke) recirculatie van lucht in het proces.
- Het gebruiken van warmte in het product (laten uitdampen) is gunstig voor het energieverbruik; stem de aanvoer van warmte naar het product af op de nodige hoeveelheid om droogsnelheid te behouden.
- Zorg ervoor dat procescontrole in orde is: een stabiel proces is energetisch gunstiger.
- Een goed beeld van het drooggedrag en droogsnelheid helpt bij het instellen van een droger;

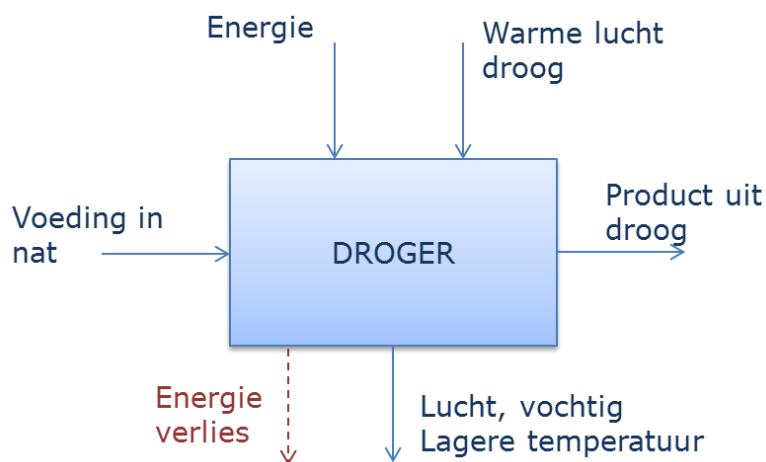
Door de specifieke vorm van de droogcurve moet de benodigde energietoevoer ook worden gestuurd: veel aan het begin van droging, minder na verloop van tijd.

- Conditioneren van de inlaatlucht zorgt voor stabiele operatie van proces gedurende het gehele jaar, resulterend in langere runs en uiteindelijk ook energiebesparingen
- Probeer bij convectieve processen zoveel mogelijk warmte terug in het systeem te stoppen: verwarmen voeding aan de inlaat van het droogproces
- Controleer de mogelijkheid van recycle stromen in het proces. De warmte-inhoud blijft en de energie wordt een aantal malen gebruikt tijdens het droogproces.
- Zorg ervoor dat het product niet wordt "overdroogd"; er wordt onnodig extra energie gebruikt.
- Energiebesparing betekent niet automatisch afbreuk aan kwaliteit

Kwaliteit wordt vaak gebruikt als argument om niet of slechts beperkt te onderzoeken of energiebesparing mogelijk is. Paragraaf 6 beschrijft de aanpak die kan worden gevolgd. Aandachtspunten voor aanschaf of vernieuwing van drooginstallaties worden verder beschreven in paragraaf 7. Trends en nieuwe ontwikkelingen staan tenslotte benoemd in paragraaf 8.

3. Het droogproces

Door middel van energie (warmte of straling) worden water of oplosmiddelen gescheiden van een vaste stof. Dit proces kan eenvoudig in een plaatje worden beschreven:



Figuur 1: Algemeen model droogproces met hoofdstromen [Bodec]

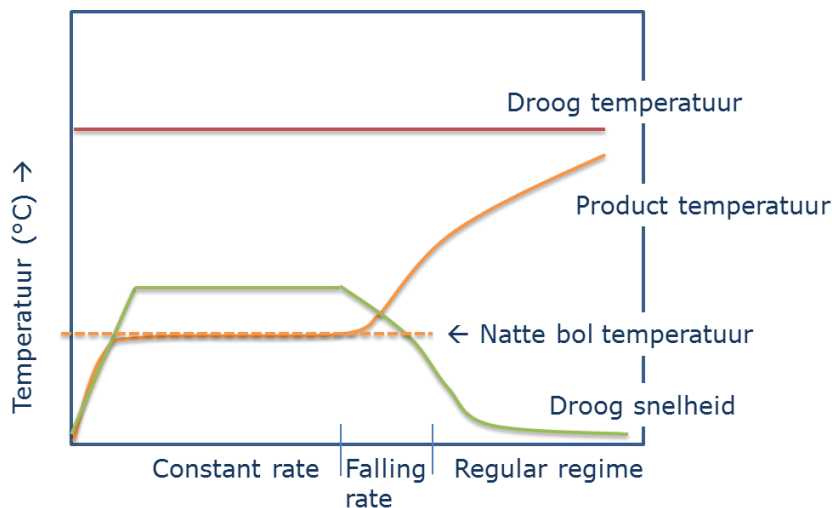
Afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal, zijn bepaalde temperatuurniveaus hanteerbaar. De vorm van het product bepaalt vaak welke keuze er is in droogapparaat en op welke wijze de energie kan worden toegevoerd tijdens het droogproces. Daarnaast is ook de plaats waar de droger zich bevindt in het geheel van deelprocessen bepalend voor de keuze van droging.

Verloop typisch droogproces

Tijdens het droogproces vertoont een product een typisch temperatuur profiel, gekoppeld aan de verschillende droogfases. Hierbij zijn 3 stadia te onderscheiden:

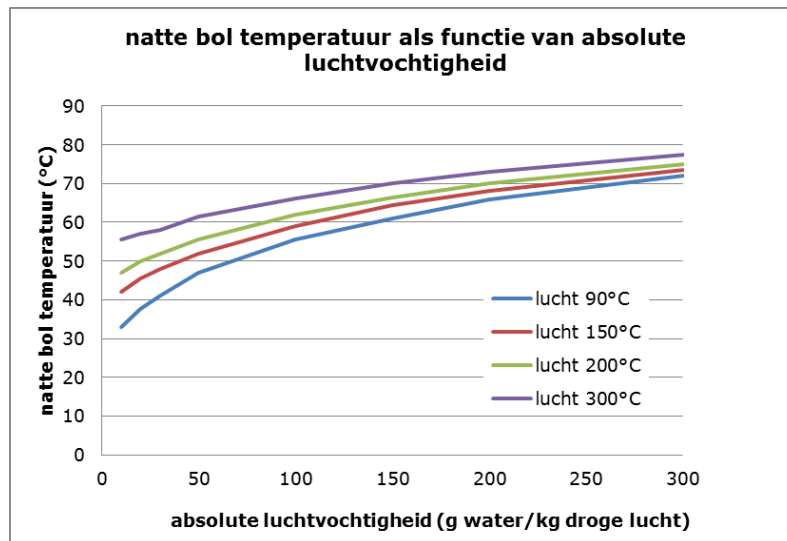
- Constant rate
- Regular regime
- Falling rate

Natte deeltjes warmen eerst op en water zal gaan verdampen aan het oppervlak. Deze verdamping neemt zoveel energie weg, dat het product op relatief lage temperatuur blijft, afhankelijk van luchtvochtigheid en temperatuur ongeveer 50-80°C. Zolang de aanvoer van water van binnenuit de deeltjes naar het oppervlak voldoende snel is ontstaat er een balans die ervoor zorgt dat deze product temperatuur constant blijft. Deze temperatuur noemt men de natte bol temperatuur, het droogstadium: constant rate. Wanneer de aanvoer van vocht vanuit de kern van het product afneemt ten opzichte van de aangeboden energiehoeveelheid, neemt de droogsnelheid af (falling rate) en kan ook de product temperatuur toenemen. Uiteindelijk benadert de product temperatuur de luchttemperatuur en is de snelheid van drogen alleen nog afhankelijk van diffusie van water vanuit de kern van het product naar het oppervlak (regular regime).



Figuur 2: Schematische tekening verloop product- en lucht temperatuur bij constante drooglucht temperatuur [Bodec]

Het natte bol principe zorgt ervoor dat temperatuurgevoelige producten toch aan hoge droogtemperaturen kunnen worden blootgesteld zonder dat het product zelf te veel opwarmt. In onderstaande grafiek staat het verloop van de natte bol temperatuur als functie van luchtcondities weergegeven.



Figuur 3: natte bol temperatuur is afhankelijk van de lucht temperatuur en absolute luchtvochtigheid van de drooglucht [Bodec]

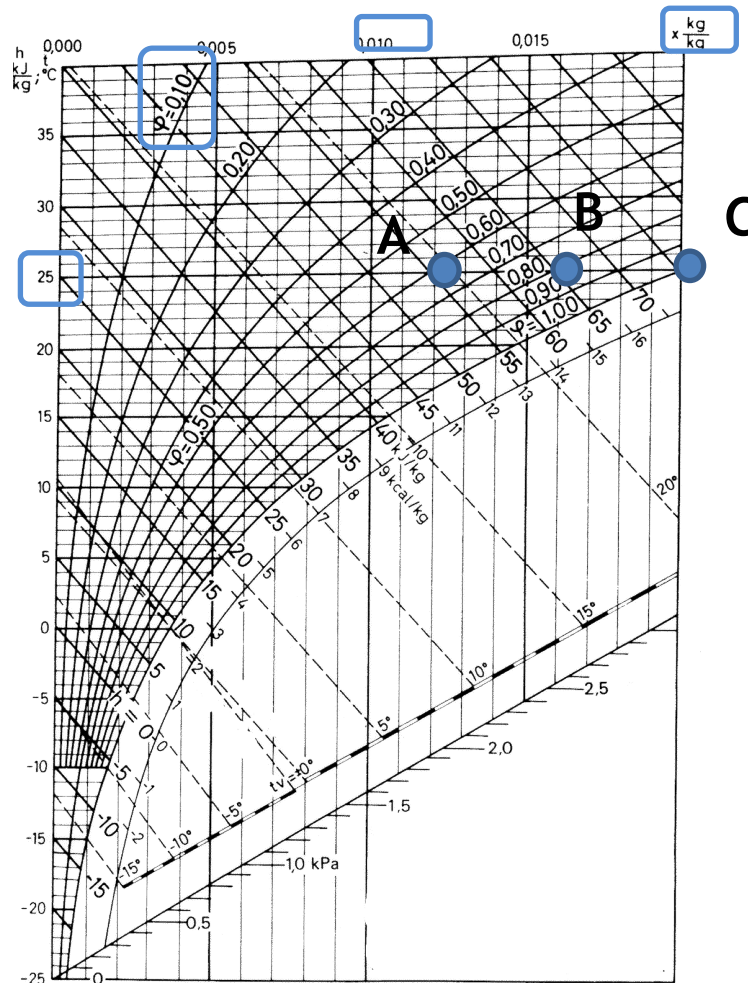
In de meeste droogprocessen wordt lucht als transportmedium voor warmte of voor verdampt water gebruikt. Dit betekent ook dat de samenstelling van lucht tijdens een droogproces verandert. In een Mollier diagram kan snel worden beschreven hoe precies luchtcondities veranderen tijdens een droogproces.

Mollier diagram

Een Mollier diagram beschrijft de samenhang van verschillende luchtcondities: temperaturen, samenstellingen, dichtheden en energie-inhouden. Er bestaan verschillende uitvoeringsvormen maar altijd is het verband weergegeven tussen absolute luchtvochtigheid, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en natte bol temperatuur. Vaak zijn ook enthalpie van de lucht en dichtheid meegenomen. Door in een Mollier diagram een droog-route te plotten kan worden bepaald wat er met luchtcondities zal gebeuren.

Stel we beginnen op een zomerse dag in Nederland te drogen (25°C, 60% RV) [punt A] en willen inzicht in de rek van ons proces bij 25°C drogen. Uit het Mollier diagram blijkt dat er 11.8 gram water per kg droge lucht zit. Bij 25°C en 100% RV (verzadigingslijn) zien we dat lucht maximaal 20 gram per kg droge lucht kan bevatten [C]. Een reëlere waarde tijdens droging is 80%, zodat de maximale hoeveelheid water in de lucht dan slechts 16 gram per kg/dl is [B]. Dit betekent dat iedere kg lucht slechts enkele grammen water nog kan opnemen.

Analoog hieraan kan dit ook voor lucht van hogere temperatuur worden gedaan en kan worden bepaald of er mogelijk nog rek zit in een droogproces. Direct is nu ook het belang van een goede kennis van het eigen droogproces (massa en energiebalansen) duidelijk.

Figuur 4: Mollier diagram [The Engineering Toolbox (www.engineeringtoolbox.com), modified Bodec]

NB: het Mollier diagram is een hulpmiddel om luchtcondities snel te bepalen. Het voorspelt niet dat een proces per definitie de wateropnamecapaciteit van de lucht onvoldoende benut.

Verschillende typen droging

In hoofdzaak kunnen 3 vormen van droging worden onderscheiden:

1. Convectie (meestal met behulp van de voelbare warmte in grote hoeveelheden lucht die tegelijk ook de waterdamp opneemt en afvoert);
2. Conductie of geleiding (indirecte verwarming door middel van een warm oppervlak, waarbij de waterdamp die tijdens het drogen ontstaat meestal met lucht wordt afgevoerd);
3. Straling (infraroodstraling (typisch voor oppervlakken) ofwel microgolf straling (indringend in materiaal) ofwel radiofrequent golven; de vrijgekomen waterdamp wordt met een gas, meestal lucht, afgevoerd).

Elk van de hierboven beschreven typen droging heeft specifieke toepassingen in de industrie. De keuze voor welke techniek en welk apparaat geschikt is voor droging, is direct gekoppeld aan vijf belangrijke elementen:



- Aard en eigenschappen van de vaste stof
- Aard en eigenschap van de te drogen vloeistof (meestal water, soms oplosmiddelen)
- Toevoeging van energie om te drogen
- De locatie in het complete proces waar drogen wordt toegepast
- De beoogde kwaliteit van het uiteindelijk gedroogde product

Tabel 1 geeft een groot aantal drogers weer met een typische toepassing van producten

Type	Mechanisme	Toepassing
Trommeldroger	Convectief	Vaste producten, goede controle op basis van uitgaande temperatuur, chemische producten
Wervelbed droger (fluid bed)	Convectief	Vaste producten drogen, nadroging poeders, chemische producten
Sproeidrogers	Convectief	Vloeistoffen (typisch tot max ongeveer 50% droge stof in voeding); Polymeren
Flash droger	Convectief	Producten met kleine deeltjesgrootte, poeders
Peddel droger	Conductief	Pasta, vaste producten die niet versmeren
Kamerdroger	Convectief	Vaste producten met lange droogtijden (cement platen, drop) batchproces
Bakken/ traydrogers	Convectief	Vaste producten met langere droogtijden; semi-continu proces (petfoods)
Continue tunneldroger	Convectief	Vaste producten met langere droogtijden (petfood, nootjes, ontbijtproducten)
Banddroger	convectief	Vaste producten, pellets
Impingement droger	Convectief	Vaste producten (koekjes, papier)
Microgolfdrogers en radiofrequent drogers (i.c.m. vacuum)	Straling	Vaste materialen; hoge kwaliteit producten
IR drogers	Straling	Papier, textiel, oppervlakte droging
Vacuüm band droging	indirecte straling	Hitte sensitieve producten, hoge kwaliteit producten
Dunne film droger met rotor (ATFD)	Conductief	Hitte sensitieve producten, vloeibare materialen (ook voor lagere droge stof (10%-15%) mogelijk)
Wals drogers (i.c.m. vacuum)	Conductief	Viskeuze vloeistoffen, producten in lagen (papier, zetmelen)
Vriesdrogers	Indirect straling	Pharmaceutische producten, hoogwaardige producten, hoge kwaliteit (fruit, koffie)

Tabel 1: verschillende drogers en toepassingsgebieden (Bodec)

Bovenstaand overzicht is verre van compleet. Van de verschillende drogers zijn vaak ook weer diverse uitvoerings vormen bekend, zodat het totaal aantal type drogers voor de industrie wel tot boven de 100 stijgt. Een beschrijving van de apparaten met typische voor- en nadelen staat beschreven in de "Best Practice – Energiebesparing bij droogprocessen, 2008".



Typisch energieverbruik en rendementen

Het verdampen van water kost veel energie. De hoeveelheid energie nodig om een kg water te verdampen is ongeveer 2300 kJ. De waarde die in de praktijk gehaald wordt hangt af van het type droogproces maar ook van het product. Uit de literatuur zijn gegevens verzameld die per droogtechniek de range van energieverbruik aangeven.

Dit typische energie verbruik wordt beschreven met kental: kJ/kg water verdamping.
De thermische efficiëntie beschrijft het percentage van de hoeveelheid energie die toegevoegd wordt dat daadwerkelijk voor water verwijdering wordt gebruikt

Droger type	Typisch energie- verbruik (kJ/kg water)	Thermische efficiëntie
Tunneldroger	5500-6000	42-38 %
Band-droger	4000-6000	58-38%
Impingement-droger	5000-7000	46-33%
Trommeldroger	4600-9200	50-25%
Fluïde bed-droger	4000-6000	58-38%
Flash droger	4500-9000	51-26%
Sproeidroger	4500-11500	51-20%
Drumdroger	3200-6500	72-35%
Refractance window droger	4700-8100	49-28%
Geroerde dunne film droger (ATFD)	3000-4000	77%-58%
Microgolf droger	4000-10000	58%-23%
IR droger	8600-10000	27%-23%
Vriesdroger	2500-5500	92%-42%

Tabel 2: typische energie verbruik droogtechnieken (literatuur [3], [4], [5], Bodec)

Zoals zichtbaar in de bovenstaande tabel varieert de thermische efficiëntie behoorlijk. Dat is geen reden om bepaalde technieken helemaal niet te gebruiken. Belangrijk hierbij is ook welk product gedroogd moet worden en op welke wijze het vocht in het product aanwezig is. Diffusie gelimiteerde droogprocessen hebben nu eenmaal tijd nodig en dus energie. Hiermee daalt de efficiëntie, gedreven door de wetten der natuur.

Aan de andere kant geeft het overzicht bij een eerste selectie direct een aantal preferente droogprocessen weer.

4. Analyseren van een bestaande installatie

Een goede manier om meer inzicht in uw droogproces te krijgen, is het bepalen van een complete massa- en energiebalans van uw droogproces. Voorbeelden en ervaringen uit het verleden hebben aangetoond dat met dit inzicht bij deckdrogers en sproeidrogers 10% - 20% energie gereduceerd kan worden.

Om tot een inzage in deze balansen te komen dienen product- en energiestromen in beeld te worden gebracht. Voor massa gaat dat nog relatief eenvoudig. Via het aflezen van massa stromen vanuit besturing van het proces is het relatief eenvoudig de massabalans voor product te



bepalen. De waterbalans daarentegen is vaak al lastiger. Dit heeft te maken met de hoeveelheid water die verdampt wordt en die dan gedetermineerd moet worden via metingen in de uitgaande dampleidingen. Bij convectieve droogprocessen is dit veelal gemakkelijker omdat de lucht dan als drager van de watermassa dient. Dit is ook het geval bij stralingsdrogers waarbij veelal extra lucht toegevoegd wordt om het verdampte water af te voeren.

De energiebalans is ook lastig te bepalen omdat de drooglucht vaak als energiedrager lastig te determineren en te karakteriseren is. Bestaat de mogelijkheid tot meten?; zijn er meetpunten voor lucht?; en zijn er apparaten waarmee zowel lucht temperatuur, flow en relatieve vochtigheid (RV) te meten zijn? Dit zijn allemaal praktische vragen die beantwoord moeten worden. (Firma's TESTO en ACIN o.a. hebben deze sensoren beschikbaar).

Ervaring leert dat het ingrijpen fysiek (door het aanbrengen van gaten in luchtleidingen) veelal voor discussie zorgt. Bij industrieën waarbij delicaat product gemaakt wordt is het ook nog niet zo evident deze aan te brengen. Voor de andere industrieën is het veelal wel mogelijk, maar bestaat de moeilijkheid in de keuze van de locatie van het aanbrengen van het meetpunt.

Indien men luchtcondities in de luchttransportleidingen meet, bedenk dan vooral dat lucht een bijzonder vervelend medium is om te karakteriseren. Zonder direct geheel in CFD studies te duiken, kan men hier wel al melden dat lucht turbulent door buizen heen stroomt en dat men liefst over de diameter van de buis verschillende meetpunten meet. Een anemometer (temperatuur en flow) en RV-meter met variabele lengte is hierbij van bijzonder toegevoegde waarde. Om een goede meting van luchtcondities (T, RV, flow) te doen is het wel raadzaam dat de lucht zich in de pijp 'gezet' heeft. Dat houdt in dat het de voorkeur geniet om van een zeker afstand van een bocht deze condities te bepalen. Richtlijn voor deze afstand is 4-6 maal de diameter van de buis voordat de lucht een bocht in gaat en 6-8 maal de diameter van de buis nadat de lucht de buis uitgekomen is. Indien deze afstanden in de praktijk niet haalbaar zijn, wees dan voorzichtig met de interpretatie van de meetgegevens.

Met bovenstaande aanpak is men in staat om een lucht / energie balans en productbalans over de droger te maken. Energielekken via grote temperatuur oppervlakken zijn ook gebruikelijk bij droogprocessen. Deze 'lekken' kunnen ook gemeten worden door middel van handzame IR temperatuur meters.

Zowel luchtlekken als energielekken leiden tot een minder efficiënt proces. Met de inzage in deze lekken kan men besluiten over te gaan op (extra) isolatie van verschillende delen van de droger of de energietoevoerleidingen. Of in sommige gevallen over te gaan op een verbouwing van de droger of zelfs de aanschaf van een nieuwe droger.

Gespecialiseerde bureaus kunnen helpen bij het in kaart brengen van de product- en energiestromen van uw droger om tot inzicht te komen of er besparingsmogelijkheden zijn.

De kwaliteit van het eindproduct wordt uiteindelijk bepaald in het droogproces. De relatie tussen droogproces en producteigenschappen kunnen vaak nog beter gekend zijn, waardoor minder uitval (hogere opbrengst) in relatie tot minder energie (op totale basis of op kg basis) de uitkomst kan zijn. Inzicht in de relaties tussen procesinstellingen (temperatuur, luchtflow → energie input) met deze producteigenschappen is daarbij belangrijk. In industrieën waarbij veel verschillende producten op dezelfde droger worden gedroogd, is de neiging naar 1 procesinstelling groot. Dit impliceert dat er potentieel voor verbetering en energiereductie is.

Samenvattend komt de kennis van het droogproces neer op de volgende items:



- Massa- en energiebalans geven inzicht in productstromen en energiestromen.
- Energiestromen kunnen inzichtelijk gemaakt worden door 'inline' luchtcondities te meten.
- Goede kennis van massa- en energie balansen geeft potentie op besparingen operationele kosten door bijvoorbeeld isolatie toe te passen.
- Inzicht in relatie tussen product en proces is belangrijk om 'overdrogen' te voorkomen en onnodig productverlies en energieverlies te vermijden.
- Modelleren kan bijdragen in de inzichten tussen procescondities en product-eigenschappen waarmee energiereductie / productoptimalisatie plaats kan vinden.

5. Energiebesparing bestaande drogers (optimalisatie)

Bij aanpassingen in bestaande installaties die betrekking hebben op energie besparingen hebben we altijd te maken met het natuurlijke spanningsveld tussen kwaliteit en energiebesparing, waarbij behoud van kwaliteit vaak de stap naar minder energieverbruik belemmert. Voor veel bestaande drogers geldt dat er nog een groot energiebesparingspotentieel ligt.

Ruwweg zijn er 6 opeenvolgende stappen aan te duiden die gevolgd kunnen worden als energiebesparende maatregelen:

1. Good housekeeping
2. Eenvoudige maatregelen (controle / regeling)
3. Massa- en energiebalansen van droger meten en berekenen (kennis)
4. Ingrijpendere maatregelen
5. Modelleren drogers
6. Vervangen droger

1. Good Housekeeping:

Reparaties en met name onderhoud tijdig uitvoeren, isolatie controleren en kleine lekkages snel verhelpen zorgen ervoor dat een droger optimaal presteert.

2. Eenvoudige maatregelen

Aanbrengen van extra of betere isolatie, optimale instellingen van branders en luchthuishouding hanteren, juiste operating window kiezen en gebruiken; dit zijn allemaal oplossingen die ervoor zorgen dat een proces energetisch gunstig verloopt.

Het aanbrengen van een economizer op stoomketels levert vaak 5% energiebesparing op.

Daarnaast zijn verbeteringen in droogprocessen in bestaande situaties mogelijk op controle niveau: een proces dat beter gecontroleerd wordt bedreven, is ook energetisch gunstiger. Dit laatste kan worden bereikt door continu monitoren van product- en procesgegevens en hierop de procescontrole te baseren.

3. Massa- en energiebalansen van droger meten en berekenen

Een ander belangrijk onderdeel waar besparingen uit kunnen volgen is de vergroting van kennis van het eigen droogproces, zoals eerder beschreven. Door het drooggedrag van een product beter te kennen kan gericht worden gezocht naar mogelijkheden voor energiebesparingen, warmte-integratie of procesverbeteringen. Daarbij is ook belangrijk dat de hele keten bekeken wordt om mogelijkheden van warmte-integratie en hergebruik goed te kunnen bepalen.



4. Ingrijpender maatregelen

Luchtconditionering aan de voorkant van een convectief droogproces verbetert de stabiliteit en samenstelling van de ingaande luchtstroom en daaraan gekoppeld ook de controle van het droogproces (een regenbui heeft niet meer direct een effect op productvochtgehalte).

Warmte hergebruik in hetzelfde proces (recycle van (gedeelte) van de luchtstroom) of in een voortraject (via warmtewisselaar gekoppelde uitgaande lucht aan ingaande voedingsstroom) verbetert de effectiviteit van het gebruik van de aanwezige energie. Belangrijk is dat de luchtflow voor hergebruik slechts waterdamp bevat en geen vervuilende componenten.

Warmtepompen zijn een nieuwe ontwikkeling die in drogerconfiguraties (convectief drogen) kunnen worden toegepast. Groot voordeel is dat latente warmte uit een uitgaande stroom effectief hergebruikt kan worden. De investeringen in de bouw van een dergelijk systeem zijn echter nog steeds hoog. Compressoren en filters in het systeem vergen daarnaast ook regelmatig onderhoud.

Vanwege de hoge luchtdebieten in sproeidrogers en flashdrogers zijn deze niet geschikt om met een warmtepomp te worden uitgerust.

5. Modellering drogers

Modelleren van droogprocessen kan op meerdere manieren gebeuren. Wanneer procescondities en drooggedrag worden gemonitord kan een dynamisch model worden opgesteld voor het droogproces. Bij voldoende betrouwbaarheid kan er een regeling op worden gebaseerd. Dit heet Model Based Control.

Modellering kan daarnaast ook plaatsvinden op luchtstromingen en op product niveau. Deze manier van modelleren is erg specifiek en heeft ook een gedegen validatie nodig. Ze kan echter grote besparingen opleveren zoals eerder gebleken is in een project bij een polymeerleverancier.

Een bestaande sproeidroogtoeren had als probleem dat veel van het gedroogde poeder via het luchtsysteem naar het filterhuis werd getransporteerd. De runtijden in de sproeidroger werden beperkt door de drukopbouw in het filter tijdens de run. Een model werd gemaakt met versimpelde vergelijkingen voor luchtstroming en deeltjesgrootteverdeling en de fabriekssituatie werd nagebootst. Aanpassingen in het model toonden aan dat het aantal deeltjes die naar het filterhuis werden getransporteerd kon worden verminderd en dat theoretisch dus langere runtijden konden worden behaald. Toepassing ervan in de praktijk situatie leverde inderdaad een langere runtijd en een verbeterd energieverbruik.

6. Vervanging droger

De laatste stap om een droogproces energiezuiniger te maken is de vervanging door een compleet nieuw type of een energiezuiniger variant. Daarnaast zijn er op het gebied van utilities nieuwe, beter gecontroleerde stoomketels die energetisch slimmer stoom produceren en dus ook minder energie verbruiken.

Een tussenoplossing zou kunnen zijn om bijvoorbeeld ventilatormotoren te vervangen door energetisch gunstigere typen en deze frequentie-gestuurd te maken.

Ook innovaties aan onderdelen in het bestaande droogproces kunnen een positieve bijdrage leveren op het energieverbruik: nieuwe gemodificeerde nozzles in een sproeidroogstelsel, alternatieve uitvoeringsvormen van trommeldrogers etc.

Doordat kennis over processing enorm is toegenomen is over-dimensioneren van capaciteit in een nieuwe droger niet meer gewenst.



6. Kwaliteit

Kwaliteit van het gedroogde product is een van de belangrijkste factoren die een rol spelen bij verschillende droogprocessen. Alle energiebesparingen ten spijt bepaalt kwaliteit of energiebesparingen binnen het droogproces mogelijk zijn. Elke energiebesparing die er immers voor zorgt dat de kwaliteit niet gehandhaafd blijft zal niet worden geaccepteerd. Desondanks zijn er nog steeds grote besparingen mogelijk in verschillende droogprocessen die door onbekendheid en voorzichtigheid niet worden benut: hieronder staan operationele aspecten weergegeven die typisch aan de orde komen bij kwaliteit, maar waar zeker verbeteringen mogelijk zijn (analogie hoofdstuk 5).

Kleur van het product, functionele eigenschappen als benatting, bezinking, dispergeerbaarheid en oplosbaarheid, dichtheid en bulkdichtheid, vorm en tenslotte activiteit zijn enorm belangrijk. Waar te hoge temperaturen direct kunnen zorgen voor inactivering van verschillende functionele componenten of verkleuring van het product kan een verkeerde keuze van procescondities ervoor zorgen dat dichtheid en functionele eigenschappen verslechteren. Dit laatste is ook het geval wanneer te lage droge stofconcentraties worden gebruikt als uitgangspunt. Ook de keuze van de droogtechniek (zie paragraaf 7) heeft een invloed op de kwaliteit, met name vorm, dichtheid, hittebelasting en de functionele eigenschappen van het poeder. Flakes worden geproduceerd middels een drum droger (goede bezinking) terwijl agglomeraten bijvoorbeeld kunnen worden gevormd in een sproeitoren of fluid bed (bezinking en benatting).

In ieder droogproces hebben we te maken met een normaalverdeling van vocht in het product. Binnen vaste producten is dit een vochtverdeling over de verschillende vormen, in een sproeidroogproces is dit een druppelgrootte waarmee de toren wordt gevoed. Om het eindvochtgehalte van het product te waarborgen bepaalt de grootste druppel of het vochtigste deeltje de energie-input en de capaciteit van een droogproces. Inherent hieraan zijn er dus vele druppels en producten die een teveel aan warmte /energie krijgen en hierdoor overdroogd worden.

Parallel aan het vochtgehalte in de verschillende producten speelt ook het warmteoverdrachtsmedium een grote rol. Omdat in convectieve droogprocessen vaak lucht als warmtecarrier wordt gebruikt betekent een verandering in luchtsamenstelling (lees: weersveranderingen) automatisch ook een (kleine) verandering in het droogproces. Operators in droogprocessen zijn vaak behoudend in hun controle en bijsturen van het droogproces; elke ploeg heeft haar eigen controle parameters en condities op de apparaten. Door mogelijke weersveranderingen zijn droogcondities zodanig ingesteld dat eindvochtgehalte van het product in alle gevallen kan worden gegarandeerd.

Een eigenschap van lucht die een rol speelt bij droogprocessen is de wateropname. De druk en temperatuur bepalen de maximale hoeveelheid water die opgenomen kan worden in de lucht. Daarnaast ontstaat er tijdens droogprocessen een dunne laag om het productoppervlak die voor een weerstand tegen stofoverdracht (i.e. water) zorgt. Deze weerstand kan op verschillende manieren worden verlaagd (aanstroming, materiaalkeuze, warmtedrager keuze).

Beter nog is om de weerstand in zijn geheel weg te nemen. Dit laatste kan worden bereikt door bijvoorbeeld superkritisch CO₂ te gebruiken als medium waarin gedroogd wordt. Naast mogelijke energiebesparingen wordt met deze techniek ook een kwaliteitsverbetering bereikt.



7. Energiebesparingen bij aanschaf nieuwe droger

Vanuit de productontwikkeling van een nieuw product of vanuit een vervangingsinvestering voor een bestaand product kan de vraag komen om tot aanschaf van een nieuwe droger te komen. Belangrijke rol hierbij is de rol van de toekomstige leverancier, u gaat immers een behoorlijke investering doen.

In deze paragraaf worden richtlijnen gegeven die kunnen bijdragen in de keuze van droogtechnologie en leverancier. Vanuit verschillende adviesbureau/instituten kan ondersteuning gegeven worden om tot een leverancier onafhankelijke keuze van de droogtechnologie te komen.

Drijfveer om tot investering in een nieuwe droger over te gaan kan divers zijn; enerzijds kan dit gedreven zijn door vervanging van een bestaande droger (door beschikbaarheid van een meer efficiënte droger) of door de noodzaak om naar een nieuwe droogtechnologie te kijken door de verruiming van productportfolio binnen uw organisatie. Hierbij is het ook belangrijk onderscheid te maken tussen droogproces en de uiteindelijke droogtechnologie. Het droogproces gaat verder dan alleen de droger, het integreert ook de product toe- en afvoer en met name ook de keuze van de energiedrager die u voor uw droogproces op het oog hebt. Een geïntegreerde aanpak is hierbij aan te bevelen. Ondersteuning door engineering firma's is hierbij aan te bevelen.

Zoals in de inleiding al vernoemd is, zijn er verschillende industrieën waarin gedroogd wordt, ieder met zijn eigen productkarakteristieken en proceseigenschappen. De inrichting van het proces en de technologie wordt hierbij gedreven door bijvoorbeeld aard van de producten die gedroogd moeten worden of het oplosmiddel dat verwijderd moet worden. Andere drijfveren kunnen zijn deeltjes afmetingen en vorm (groot / klein / poeders) en bijvoorbeeld de uiteindelijke vochtpercentages waarnaar gedroogd moet worden.

Vanuit de literatuur zijn verschillende publicaties / tools beschikbaar die ondersteunend kunnen zijn aan de keuze voor technologie. Onderstaande paragrafen geven de grove stappen weer waarover nagedacht moet worden voor de implementatie van een nieuw droogproces.

Professor Mujumdar heeft in zijn handboeken over de inrichting van een droogproces veel ervaring en kennis gedeeld [3]. Ook in de vorige versie van Best Practice, door Henk van Deventer [2] is een aantal stappen weergegeven wat de basis is voor een nieuwe droger selectie. Samenvattend komen die methodes neer op de volgende stappen:

Stap 1: karakterisering van het te drogen materiaal

Bij de rangschikking van geschikte droogtechnologieën kan men het beste verschillende technologieën bekijken / rangschikken met de volgende vragen in het achterhoofd:

- Wat zijn de eigenschappen van de stoffen (chemisch / fysisch)?
- Is de grondstof een vloeistof, vaste stof of slurry?
- Wat zijn de ingangsaftmetingen en gewenste productaftmetingen?
- Zijn de producten moeilijk / gemakkelijk te hanteren en dienen er speciale maatregelen hiervoor genomen worden?
- Dient er nog een productverkleining / rangschikking plaats te vinden?



Stap 2: randvoorwaarden die meespelen in de selectie

Welke additionele randvoorwaarden / vragen kunnen gesteld worden aan het droogproces waarmee bij de inrichting rekening moet worden gehouden.

- Welke energiedrager is reeds aanwezig binnen het bedrijf of moet parallel aan de keuze tot droogtechnologie ontwikkeld worden?
- Trend is dat de integratie met andere processen steeds meer toegepast wordt ook buiten het eigen bedrijf; zeker als het gaat om toepassen van energie stromen. Het gebruik van 'restwarmte' met een eventuele opwaardering kan leiden tot gereduceerde energie kosten.
- Staat het product toe om directe luchtverwarming te hebben, bijvoorbeeld door direct gasverbranding toe te passen?
- Wat is de visie op de supply chain van het droogproces? Is de verwachting dat er voortdurend productwisselingen plaats moeten vinden met tussentijds reiniging of wordt in bulk 8000 uur per jaar hetzelfde product gedraaid.
- Welke garanties kunnen leveranciers geven over product doorzet, kwaliteit en energieverbruik per kg?

Belangrijk is en blijft het energieverbruik van de droger. Op basis van de invulling van de randvoorwaarden die hierboven genoemd zijn, kan men met behulp van onderstaande statements reeds een grove indicatie krijgen over hoe efficiënt het droogproces uitgevoerd kan worden. Een en ander is natuurlijk sterk afhankelijk van de specifieke technologieleverancier en de procesintegratie, maar het kan helpen om in een vroeg stadium technologieën te selecteren.

Stap 3: selectie van droogtechnologie

In de literatuur [3] en op [internet](#) zijn verschillende tools beschikbaar om tot een eerste selectie van technologie te komen. Een mooi en handig voorbeeld zijn de grove stappen diagrammen die door C. van 't Land [7] ontwikkeld zijn.

Belangrijk is, indien men een technologie gekozen heeft, om met name voor nieuwe producten verschillende testen uit te voeren. Voor de combinatie nieuw product met nieuwe technologie is het vaak lastig te bepalen op voorhand of iets succesvol gaat zijn of niet en wat de energie rendementen / consumptie is. Testen op lab of pilot schaal hebben hierbij een grote toegevoegde waarde. Veel leveranciers hebben pilot apparatuur al dan niet mobiel beschikbaar om dergelijke testen te doen. Het verdient aanbeveling hiervan gebruik te maken.

Ook is belangrijk goed gebruik te maken van de opschalingservaring van de leveranciers. Een rendement op doorzet of energie op een pilotinstallatie is vaak niet hetzelfde als een volledig toegewezen opschaling van een technologie voor een specifiek product.

Daarnaast helpt het om inzichtelijk te krijgen hoe leveranciers energierendementen berekenen en hanteren. Ondersteuning van gespecialiseerde bureaus / engineeringfirma's kunnen bedrijven hierbij helpen.



8. Trends en nieuwe ontwikkelingen

Stoomdrogen (oververhitte stoom) is een van de technieken die vanwege veiligheid al langer onder de aandacht is [6]. Hoewel deze techniek in potentie erg energie efficiënt kan werken zijn er nog belemmeringen, hordes die genomen moeten worden voordat de techniek verder zal worden toegepast: zuiveren van de uitgaande stoom, vervuiling van warmte-overdragende oppervlakken, etc.

Algemene trend in de industrie is dat er zoveel mogelijk gestreefd wordt naar proces intensificatie: de huidige processen worden zoveel mogelijk geoptimaliseerd (naar energieverbruik, capaciteit en kwaliteit).

Mede ook door convenanten die gesloten zijn met de verschillende industrietakken, krijgt de optimalisatie van droogprocessen en vermindering van energieverbruik extra aandacht.

Daarnaast wordt ook steeds vaker gekeken of mechanische voorontwatering als onderdeel van het totale droogproces kan worden gebruikt. Door verbeterde voor-ontwateringstechnieken (mechanisch, thermisch en fysisch) kunnen ook hoger geconcentreerde stromen worden verwerkt.

Een niet te vergeten aspect in de huidige droogprocessen is dat bedrijven in toenemende mate zoeken naar mogelijkheden om het water, dat tijdens de droogprocessen vrijkomt, te hergebruiken. Doordat in veel productieprocessen ook veel water wordt gebruikt is dit een aanzienlijke kostenpost; hergebruik van onttrokken water als bijvoorbeeld spoelwater, CIP vloeistof of zelfs proceswater levert een winst op.

Nieuwe apparaatontwikkelingen op drooggebied zijn te vinden op onderdelen van bestaande apparatuur. Zo worden *nozzles* voor sproeitoren verbeterd door ultrasoon ondersteuning te implementeren om een betere, nauwere druppelgrootteverdeling te creëren.

In samenwerking met de universiteit van Magdeburg heeft het Duitse bedrijf AVA een *inline sample apparaat* ontwikkeld (SAMPIN) die het mogelijk maakt in bewegende fluide bedden samples te nemen en vochtmetingen te doen tijdens het droogproces.

Met de ontwikkeling van nauwkeurigere en robuuste *inline meetsystemen voor vocht* (IR of microgolf) is een verbeterde controle en sturing van droogprocessen mogelijk. Bedrijven zijn zich ook meer bewust van het gebruik van statistiek in droogprocessen. Een database met gegevens over droger en procescondities kan worden gebruikt om een dynamisch model te ontwikkelen dat helpt in de controle van het proces: *Model Based Control*.

Ontwikkelingen naar nieuwe technieken die momenteel plaatsvinden:

- *Refractance window drogen; gebruik maken van de stralingsenergie in warm (~95°C) water (Universiteit Gent)*
- *Oververhitte stoomdrogen in combinatie met een microgolfdroogtechniek werd in het Europees project HiPerDry onderzocht*
- *Drogen middels vocht-adsorberende materialen (Universiteit Wageningen, Brightec, TNO)*
- *Superkritisch CO2 drogen (Feyecon)*
- *Geroerde dunne film droger voor de voedingsmiddelenindustrie (Agitated Thin Film Dryer, Bodec, Technoforce)*
- *Roterend gefluidiseerd bed droger (Universiteit Leuven, in samenwerking met ISPT)*
- *Printsysteem voor druppels om te drogen (TNO)*



In het Europees project ENTHALPY (2014-2016) wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een proces waarbij geen fijne stofdeeltjes meer zouden worden gevormd tijdens druppelvorming en opvolgende droging. Een druppelprintsysteem zal hierin worden getest. Dit maakt de weg vrij voor het effectief opnieuw gebruiken van warme uitgaande luchtstromen.
In hetzelfde project wordt ook gekeken naar het ontwateren van de uitgaande luchtstromen door middel van zoutoplossingen. Theoretisch heeft hergebruik van vocht uit het product een groot potentieel omdat de benodigde drijvende kracht om water uit de zouten te verwijderen gering is.

De laatste jaren vind er ook weer meer onderzoek in Nederland plaats op gebied van drogen. Verschillende research groepen aan de WUR zijn met projecten bezig waarbij alternatieve droogmethodes met zeolieten of zouten [8] onderzocht worden. Drijfveer hierbij is veelal de energiereductie die dergelijke droogmethodes hebben ten opzichte van de klassieke droogmethoden.

Binnen het ISPT is een cluster aanwezig dat zich richt op pragmatische projecten op gebied van drogen en ontwateren. Projecten die in gezamenlijkheid tussen industrie / academia en apparatenbouwers uitgevoerd kunnen worden.

De NWGD neemt als netwerkorganisatie de verantwoordelijkheid om door middel van kennisdeling via netwerk- en themabijeenkomsten de uitdagingen van droogprocessen te benoemen. Via verschillende subgroepen probeert de NWGD ook aandacht te geven aan de trends die bij drogen actueel zijn. Voorbeeld daarvan is de expertgroep oppervlaktedroging. NWGD wil graag binnen deze subgroep op het gebied van het drogen van textiel, tapijt, papier, eierdozen, keramiek en coatings uitnodigen om kennis en ervaring uit te wisselen. Dit om 'Best Practices' ten aanzien van efficiency en productkwaliteit gemakkelijker en sneller te implementeren bij bedrijven.



9. Links en nuttige informatie

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 Energiebesparing bij droogprocessen' is een actualisering van het document 'Leidraad voor energie efficiency, Toepassing van energiebesparende droogprocessen in de chemische industrie' nr. 7 en een update gemaakt door Ir. Henk C. van Deventer in 2008 met als titel 'Best Practice Energiebesparing bij droogprocessen'.

De huidige actualisering van de Best Practice is tot stand gekomen in het kader van meerjarenafspraken 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 Energiebesparing bij droogprocessen is geactualiseerd met medewerking van Bodec BV.

De meerjarenafspraken 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 Koningsrijkrelaties (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 meerjarenafspraken.



10. Referenties

Literatuur

1. [En route in 2030 een duurzame en concurrerende industrie. Publicatie van Agentschap NL, Juni 2013, Publicatienummer 2MJAP2013.](#)
2. Best Practice – Energiebesparing bij droogprocessen, Ir. Henk van Deventer, 2008.
3. [Handbook of Industrial drying, 4th edition, A.S. Mujumdar, CRC Press, 2015.](#)
4. [Advanced Drying Technologies, 2nd edition, T. Kudra et al., CRC Press, 2009.](#)
5. [Modern Drying Technology Volume 4: Energy Savings, First Edition, paragraaf1: fundamentals of energy analysis of dryers, I. Kemp, 2011-2012.](#)
6. Advanced drying concepts: Superheated steam and adsorption Presentation at EFCE Drying Working Party meeting, OVGU Magdeburg, H. v. Deventer, 2002.
7. [Industrial Drying Equipment: Selection and Application \(Chemical Industries\) C.M. van 't Land Hardcover – June 24, 1991.](#)
8. [Achtergronddocument voedingsmiddelenindustrie t.b.v. de referentieraming 2010-2020, ECN, M. Hekkenberg, 2010.](#)

Weblinks

- De Nederlandse werkgroep drogen:
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/tools/kennis/kennisnetwerken/werkgroep-drogen-nwgd>
- Emissierichtlijnen:
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/ner/>
- <http://www.agrofoodwiki.nl/index.php/Drogen>
- http://www.kmutt.ac.th/dtrl/pdf/Drying_Principles%20and%20Practice.pdf
- [ECN, R&D plan 2014](#)
- http://www.infratrol.com/news/2012-12-03_10-Ways-Increase-Energy-Efficiency-of-Industrial-Oven.html
- Onderstaande link geeft tien manieren om droger efficiëntie te verbeteren:
http://www.infratrol.com/news/2012-12-03_10-Ways-Increase-Energy-Efficiency-of-Industrial-Oven.html
- <http://www.industrialheatpumps.nl/nl/praktijkvoorbeelden/>



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
E klantcontact@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 | oktober 2015
Publicatienummer: RVO-218-1501/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.