

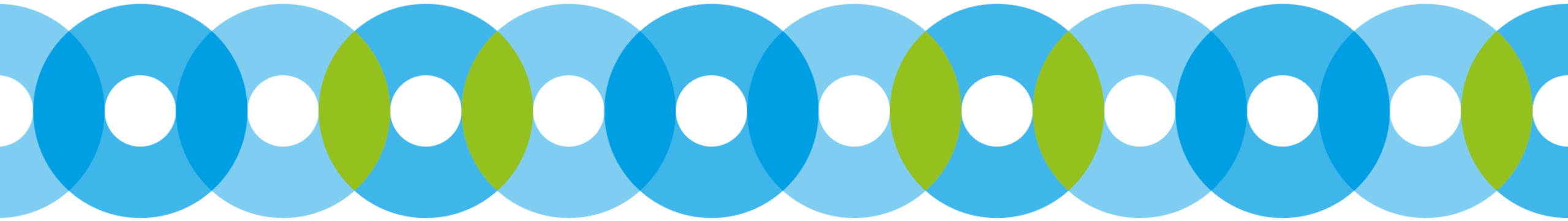


BlueTerra

Energy Experts

Empowering sustainability

Mechanische damprecompressie



1-11-2018

Egbert Klop



Stoomrecompressie

Aanleiding om stoomrecompressie toe te passen

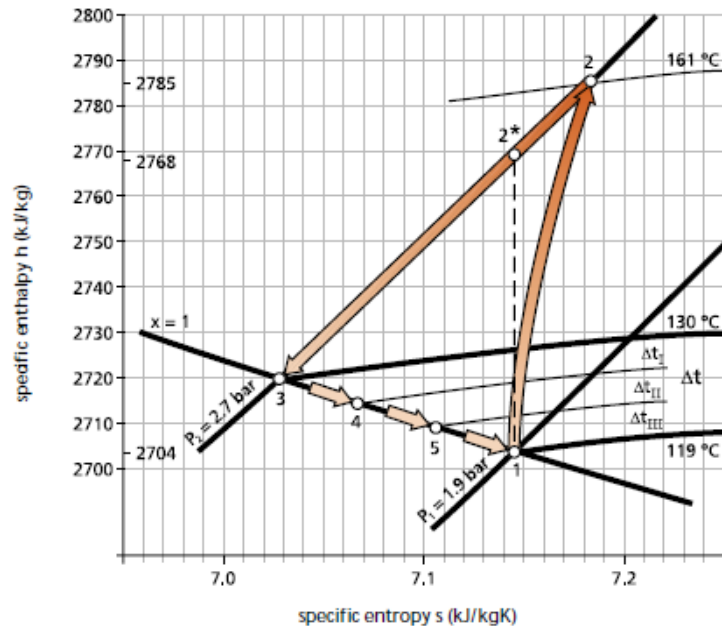
- Stoomrecompressie = Mechanische Damp Recompressie (MDR)
- Vaak overschot LD-stoom door onbalans in net of proces
- Hierdoor geen prikkel om te besparen
- MDR kan gebruikt worden voor actief sturen W-K verhouding
- Opwaarderen van overschot aan lagedrukstoom
- Bekende/beproefde techniek



Stoomrecompressie

Theorie

- Met compressor verhogen van stoomdruk
- Voorkomt condensatie of afblaas van stoom
- Door compressie oververhitting van stoom



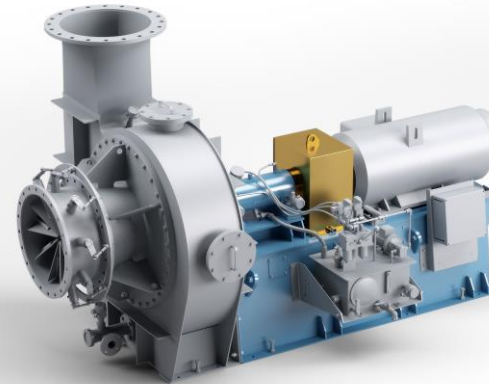
- Isentropische compressie
 - 1-2: mechanische energietoevoer
 - Verzadigd → oververhit
 - 2-3: afblussen naar verzadigingstemperatuur
- Levering warmte in het proces
 - 3-4-5-1: expansie naar lagere druk



Stoomrecompressie

Type compressoren

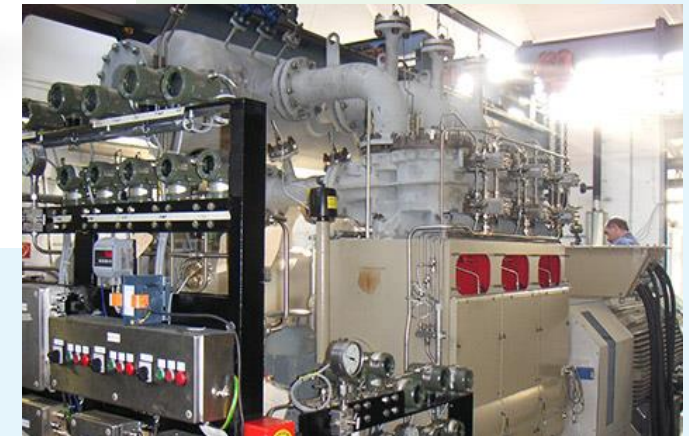
- Blower
 - Alleen voor einddruk tot 5 bar (150°C)
 - Flexibel
 - Flow 5 - 50 t/h
 - Leveranciers: Piller, Tuthill
- Piston/zuiger compressor
 - Druk $> 1,5 < 60$ bar
 - Flow 1 - 20 t/h (hoe hoger de flow, hoe meer cilinders)
 - Capaciteit goed regelbaar = flexibel
 - Leverancier: Spilling



Blower 3D-model - Piller



Stoomrecompressor: Copyright © Piller
Blowers & Compressors GmbH



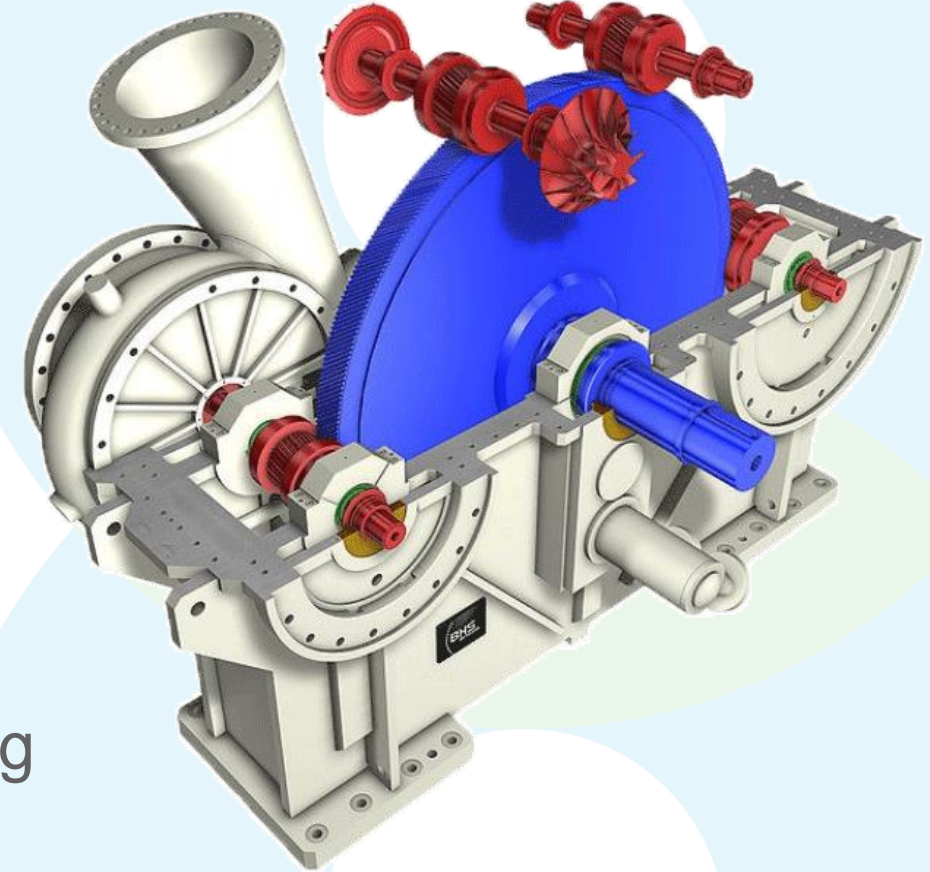
Stoomrecompressor: Copyright © Spilling
Stoomrecompressors sinds 1956



Stoomrecompressie

Type compressoren

- Centrifugaal compressor
 - Druk sub-atmosferisch tot 150 bar
 - Flow 10- >100 t/h
 - Drukverhouding per trap beperkter
 - Capaciteit beperkt terugregelbaar
 - Bij meertraps vaak bull gear aandrijving
 - Atlas Copco, MAN Turbo, Siemens, Elliott





Stoomrecompressie

Rekenvoorbeelden

Opwaarderen lagedruk stoom: 6.000 draaiuren LP-stoom (1,5 baro) comprimeren naar 9 baro

Stoomflow	10	Ton/h
Ingaande stoomdruk	2,5	baro
Uitgaande stoomdruk	10	baro
Compressorenergie	1,1	MWe
COP	7,9	-
Draaiuren	6.000	Uur/jaar
Referentie energiekosten	1.140	k€/jaar
Energiekosten MDR	330	k€/jaar
Besparing	810	k€/jaar
Investing	2.090	k€
Terugverdientijd	2,6	Jaar

Opwaarderen lagedruk stoom: 8.000 draaiuren LP-stoom (3,5 baro) comprimeren naar 12 baro

Stoomflow	50	Ton/h
Ingaande stoomdruk	4,5	baro
Uitgaande stoomdruk	13	baro
Compressorenergie	4,4	MWe
COP	9,8	-
Draaiuren	8.000	Uur/jaar
Referentie energiekosten	7.600	k€/jaar
Energiekosten MDR	1.760	k€/jaar
Besparing	5.840	k€/jaar
Investing	5.700	k€
Terugverdientijd	1,0	Jaar



Stoomrecompressie

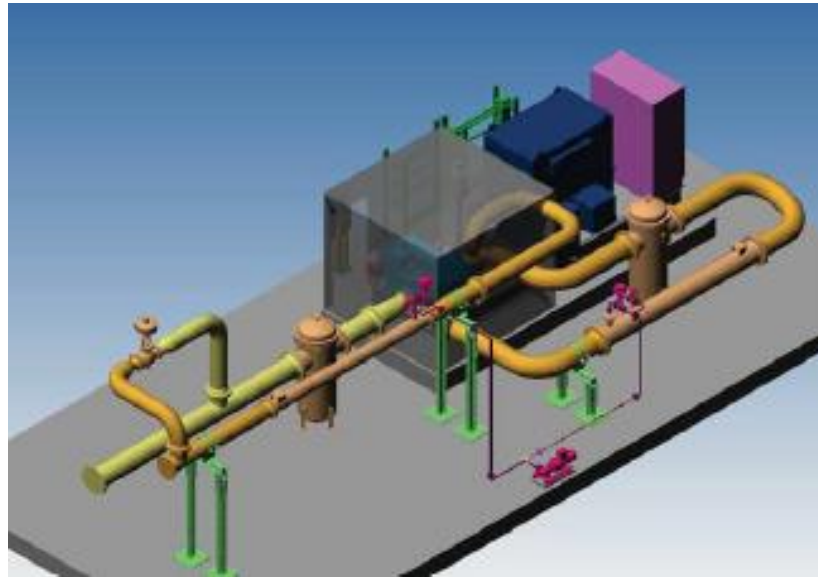
Pilotinstallatie DOW Terneuzen

- Groot overschot LD-stoom (3 barg)
- Vraag naar 12 barg stoom
- Starten met pilotinstallatie van 12 t/h (10,7 MWt)
- Gestart met haalbaarheidsstudie
- Daarna selectie van leveranciers
- Uiteindelijk gekozen voor turbocompressor van AC
- Realisatie 2018 - 2019
- Oplevering Q2 - 2019
- Later mogelijk full scale van 50 t/h



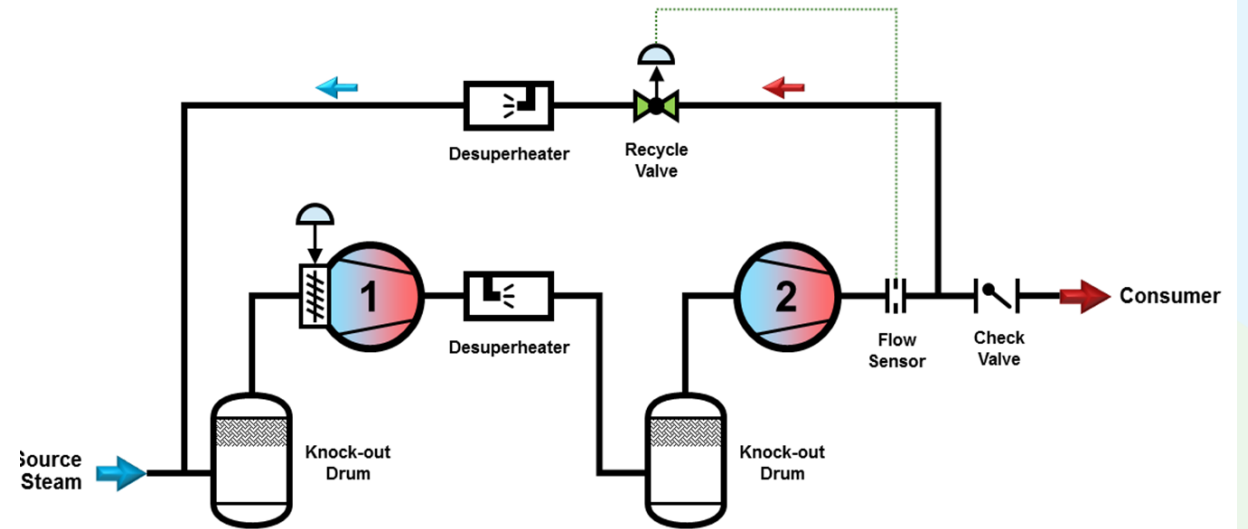
Stoomrecompressie

Pilotproject DOW



Afmetingen: 15*4,5 meter
Voorzien van geluidsomkasting

Typical P&ID - Multi-Stage





Stoomrecompressie

Rekenmodel: eentraps compressie

MDR berekening voor Bedrijf X; 7,6 t/h stoomrecompressie van 2 barg --> 4,3 barg

10-09-2018

Zonder desuperheating

Input stoom		Compressie		Product stoom	
Stoomflow	7,6 t/h	Isentropische efficiency	80%	Stoomflow	7,58 t/h
Stoomdruk	3,0 bara	Isentropisch enthalpie verschil	139,6 kJ/kg	Stoomdruk	5,3 bara
Stoomtemperatuur	230 °C	Werkelijk enthalpie verschil	174,5 kJ/kg	Stoomtemperatuur	318,3 °C
T. Verzadigde stoom	133,5 °C	Compressie ratio	1,8 -	T. Verzadigde stoom	154,0 °C
Dichtheid	1,31 kg/m ³	Rendement aandrijving	90%	Dichtheid	2,0 kg/m ³
Enthalpie stoom 1	2927,3 kJ/kg	Elektrisch vermogen	0,408 MW	Enthalpie stoom	3101,8 kJ/kg
Entropie stoom 1	7,439 kJ/kg.K	COP	16,00 -	Entropie stoom	7,5 kJ/kg.K
k (cP/cV)	1,32 -	Thermisch vermogen	6,53 MW	T. Isentropisch	301,5 °C
Stoomflow	5.796 m ³ /h			Stoomflow	3859,5 m ³ /h

Formules
Standaard waarden
Invoergegevens
Uitvoer

Met desuperheating van 70°C water tot 0,1°C boven verzadigingstemperatuur

Input stoom		Compressie		Product stoom	
Temperatuur desup water	70 °C	Isentropische efficiency	80%	Stoomflow	8,66 t/h
Oververhitting	0,1 °C	Isentropisch enthalpie verschil	139,6 kJ/kg	Stoomdruk	5,3 bara
T. Verzadigde stoom	133,5 °C	Werkelijk enthalpie verschil	174,5 kJ/kg	Stoomtemperatuur	154,1 °C
Dichtheid	1,31 kg/m ³	Compressie ratio	1,8 -	T. Verzadigde stoom	154,0 °C
Enthalpie stoom 1	2927,3 kJ/kg	Elektrisch vermogen	0,408 MW	Dichtheid	2,8 kg/m ³
Entropie stoom 1	7,439 kJ/kg.K	COP	16,21 -	Enthalpie stoom	2750,9 kJ/kg
k (cP/cV)	1,32 -	Enthalpie desup. Water	293,0 kJ/kg	Entropie stoom	6,8 kJ/kg.K
Stoomflow	5.796 m ³ /h	Thermisch vermogen	6,62 MW	T. Isentropisch	301,5 °C
				Stoomflow	3073,9 m ³ /h





Stoomrecompressie

Rekenmodel: tweetraps compressie

MDR berekening voor Bedrijf X -- meertraps compressie; 10,8 t/h stoomrecompressie van 2,3 barg --> 11 barg

10-09-2018

Input stoom		Compressie		Product stoom	
Stoomflow	10,81 t/h	Isentropische efficiency	80%	Stoomflow	10,81 t/h
Stoomdruk	3,3 bara	Isentropisch enthalpie verschil	127,5 kJ/kg	Stoomdruk	6,3 bara
Stoomtemperatuur	137 °C	Werkelijk enthalpie verschil	159,3 kJ/kg	Stoomtemperatuur	218,3 °C
T. Verzadigde stoom	136,8 °C	Compressie ratio	1,9 -	T. Verzadigde stoom	160,7 °C
Dichtheid	1,80 kg/m³	Rendement aandrijving	90%	Dichtheid	2,9 kg/m³
Enthalpie stoom 1	2729,7 kJ/kg	Elektrisch vermogen	0,532 MW	Enthalpie stoom	2889,1 kJ/kg
Entropie stoom 1	6,961 kJ/kg.K	Thermisch vermogen	8,68 MW	Entropie stoom	7,0 kJ/kg.K
k (cP/cV)	1,36 -			T. Isentropisch	203,7 °C
Stoomflow	5.992 m³/h			Stoomflow	3783,6 m³/h

Formules
 Standaard waarden
 Invoergegevens
 Uitvoer

Intercooling met condensaat van 70°C tot 0°C boven verzadigingstemperatuur

Temperatuur desup water 70 °C

Oververhitting 0,0 °C

Elektrisch vermogen 1,112 MW

COP 8,31 -

Input stoom		Compressie		Product stoom	
Stoomflow	11,38 t/h	Isentropische efficiency	80%	Stoomflow	11,38 t/h
Stoomdruk	6,3 bara	Isentropisch enthalpie verschil	132,1 kJ/kg	Stoomdruk	12,0 bara
Stoomtemperatuur	160,7 °C	Werkelijk enthalpie verschil	165,2 kJ/kg	Stoomtemperatuur	244,6 °C
T. Verzadigde stoom	160,7 °C	Compressie ratio	1,9 -	T. Verzadigde stoom	188,0 °C
Dichtheid	3,31 kg/m³	Rendement aandrijving	90%	Dichtheid	5,3 kg/m³
Enthalpie stoom 1	2758,2 kJ/kg	Elektrisch vermogen	0,580 MW	Enthalpie stoom	2923,4 kJ/kg
Entropie stoom 1	6,743 kJ/kg.K	Enthalpie desup. Water	293,0 kJ/kg	Entropie stoom	6,8 kJ/kg.K
k (cP/cV)	1,38 -	Thermisch vermogen	9,24 MW	T. Isentropisch	230,4 °C
Stoomflow	3.434 m³/h			Stoomflow	2163,0 m³/h





Stoomrecompressie

Rekenmodel: compressie van natte stoom

MDR berekening natte stoom voor Bedrijf X; 3,2 t/h stoomrecompressie van 2,5 barg --> 12 barg

10-09-2018

Zonder desuperheating

Input stoom	
Flow	3,18 t/h
Stoomdruk	3,5 bara
Kw aliteit	0,84 -
T. Verzadigde stoom	138,9 °C
Dichtheid	2,27 kg/m³
Enthalpie stoom 1	2388,4 kJ/kg
Entropie stoom 1	6,11 kJ/kg.K
k (cP/cV)	1,36 -
Stoomflow	1.399 m³/h

Compressie	
Isentropische efficiency	76%
Isentropisch enthalpie verschil	218,0 kJ/kg
Werkelijk enthalpie verschil	287,6 kJ/kg
Compressie ratio	3,7 -
Rendement aandrijving	90%
Elektrisch vermogen	0,282 MW
COP	8,37 -
Thermisch vermogen	2,36 MW

Product stoom	
Stoomflow	3,18 t/h
Stoomdruk	13,0 bara
Kw aliteit	0,94 -
Stoomtemperatuur	191,6 °C
T. Verzadigde stoom	191,6 °C
Dichtheid	7,0 kg/m³
Enthalpie stoom	2676,0 kJ/kg
Entropie stoom	6,26 kJ/kg.K
T. Isentropisch	191,6 °C
X. Isentropisch	0,91 -
Stoomflow	453,6 m³/h

Formules
d
evens
Uitvoer

Met desuperheating van 70°C w ater tot 20°C boven verzadigingstemperatuur

Input stoom	
Temperatuur desup w ater	70 °C
Oververhitting	20,0 °C
T. Verzadigde stoom	138,9 °C
Dichtheid	2,27 kg/m³
Enthalpie stoom 1	2388,4 kJ/kg
Entropie stoom 1	6,106 kJ/kg.K
k (cP/cV)	1,36 -
Stoomflow	1.399 m³/h

Compressie	
Isentropische efficiency	76%
Isentropisch enthalpie verschil	218,0 kJ/kg
Werkelijk enthalpie verschil	287,6 kJ/kg
Compressie ratio	3,7 -
Elektrisch vermogen	0,282 MW
COP	8,31 -
Enthalpie desup. Water	293,0 kJ/kg
Thermisch vermogen	2,34 MW

Product stoom	
Stoomflow	2,97 t/h
Stoomdruk	13,0 bara
Stoomtemperatuur	211,6 °C
T. Verzadigde stoom	191,6 °C
Dichtheid	6,2 kg/m³
Enthalpie stoom	2839,8 kJ/kg
Entropie stoom	6,6 kJ/kg.K
T. Isentropisch	191,6 °C
Stoomflow	477,0 m³/h





Stoomrecompressie

Voorwaarden voor toepassing

- Voorwaarden voor toepassing MDR
 - Debiet > 1 t/h, lager kan soms ook
 - Drukverhouding < 8
 - LD-stoom heeft lage waarde
 - Jaarlijks veel draaiuren
 - Stabiel aanbod van stoom
 - Continue afname van productstoom



Stoomrecompressie

Conclusie MDR

- Beproefde techniek voor terugwinnen LD-stoom
- Hoge COP
- Onderdeel van elektrificatie van de industrie
- Hoge flow heeft veel invloed op rentabiliteit
- Terugverdientijd tussen één en vijf jaar
- Momenteel veel belangstelling voor, ook te zien bij leveranciers
- BlueTerra heeft de ervaring, contacten en rekentools



Contact



Lunet 5
3905 NW Veenendaal

Postbus 1094
3900 BB Veenendaal



088 - 520 04 00



egbert.klop@blueterra.nl



blueterra.nl



twitter.com/Blueterra_NL



**[linkedin.com/company/
blueterra-energy-experts](https://www.linkedin.com/company/blueterra-energy-experts)**