



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

# *Warmtetoets industrie*

*In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat*

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief  
en Internationaal Ondernemen*



## **Warmtetoets industrie**

**15 augustus 2011**

**Uitgevoerd door:**

EnergyMatters BV

Jan Grift  
Allan Hart

Tel.: 030 – 6911844  
Fax.: 030 – 6911765

Projectnummer: 11.450  
[www.energymatters.nl](http://www.energymatters.nl)

**In opdracht van:**

AgentschapNL

Lex Bosselaar  
Bart Manders

AgentschapNL  
088 60 22 495

DENB101042



## SAMENVATTING/VOORWOORD

Op Europees niveau zijn afspraken gemaakt om het energieverbruik terug te dringen. In de industrie is het warmtegebruik in veel gevallen aanmerkelijk groter dan het elektriciteitsgebruik. Als we de internationale afspraken willen nakomen dan lukt dat alleen door ook aandacht aan het warmtegebruik te besteden. Het Nationale Expertisecentrum Warmte (NEW) van AgentschapNL gaat zich daarom ook op de managers in de industrie richten. Het NEW zag zich geconfronteerd met de vraag welke instrumenten er beschikbaar zijn om een industrieel bedrijf te helpen bij het terugdringen van het warmtegebruik. Energy Matters heeft in antwoord op die vraag de markt verkend op beschikbare instrumenten.

Vanuit het schillenmodel is een stappenplan gemaakt hoe tot een reductie van het warmtegebruik te komen. Bij de stappen is aangegeven welke ondersteunende tools er beschikbaar zijn. Dit kan zowel een wijze van visualisatie zijn als een adviesmethode.

Uiteraard is de geschetste aanpak een vereenvoudiging van de praktijk. De omstandigheden veranderen voortdurend zodat ook regelmatig teruggekeken moet worden naar voorgaande stappen en eventuele bijstelling van plannen nodig is. Dit iteratieve proces moet er toe leiden dat uw bedrijf kosten bespaart, minder kwetsbaar is voor fluctuaties in de energietarieven en met een duurzaam imago goed kan opereren in de markt.



## INHOUDSOPGAVE

<b>SAMENVATTING/VOORWOORD</b> .....	<b>a</b>
<b>1. Inleiding</b> .....	<b>3</b>
1.1. Doelgroep .....	3
1.2. Achtergrond .....	3
1.3. Leeswijzer .....	3
<b>2. Heeft u restwarmte?</b> .....	<b>4</b>
2.1. Restwarmtestromen .....	4
2.1.1. Restwarmtestromen productie .....	4
2.1.2. Restwarmtestromen gebouwkoeling .....	4
2.1.3. Restwarmtestromen utilities .....	4
2.2. Kwantificeren van restwarmtestromen .....	5
<b>3. Waarom warmte besparen?</b> .....	<b>6</b>
3.1. Aandeelhouders.....	6
3.2. Klanten .....	6
3.3. Werknemers .....	6
3.4. Omgeving .....	7
<b>4. Welke tools zijn er op de markt?</b> .....	<b>8</b>
4.1. Visualisatie & analysemethoden .....	8
4.1.1. Sankeydiagram .....	9
4.1.2. Pijlendiagram .....	10
4.1.3. Blokjesdiagram .....	11
4.1.4. Pinchdiagram .....	12
4.1.5. Warmtewisselaarnetwerk .....	13
4.1.1. Grassmandiagram .....	14
4.2. Adviestools .....	15
4.2.1. Energie Doorlichting.....	15
4.2.2. Energie Potentieel Scan .....	16
4.2.3. Procesintegratie analyse.....	17
4.2.4. Duurzame Energie Scan.....	17
4.2.5. Thermal Audit.....	17
<b>5. Welke tool is geschikt?</b> .....	<b>18</b>
5.1. Procesbesparingen .....	19
5.2. Procesintegratie .....	20
5.3. Utilities .....	21
5.4. Warmte uitkoppeling .....	22
5.5. Timing .....	23
5.6. Zelf doen of uitbesteden.....	23



<b>Appendix I.</b>	<b>Bronnen en verwijzingen .....</b>	<b>3</b>
<b>Appendix II.</b>	<b>Uitgewerkte case .....</b>	<b>4</b>
II.1.	Casebeschrijving.....	5
II.2.	Energiebalans .....	6
II.3.	Energiestromen.....	7
II.4.	Sankeydiagram .....	8
II.5.	Exergiewaarden .....	9
II.6.	Grassmann diagram.....	10
II.7.	Pijlendiagram .....	11
II.8.	Pijlendiagram met warmtewisselaars .....	12
II.9.	Blokjesdiagram .....	13
II.10.	Pinchdiagram.....	14
II.11.	Warmtewisselaarnetwerk .....	15



## 1. INLEIDING

### 1.1. Doelgroep

Deze brochure is bedoeld voor leidinggevendenden die verantwoordelijk zijn voor het energiegebruik. Dit kunnen zowel productiemangers zijn als managers op het gebied van milieu, energie en/of faciliteiten.

### 1.2. Achtergrond

Het Nationale Expertisecentrum Warmte van AgentschapNL streeft verduurzaming van warmte en koude na. Aangezien het voldoen aan de warmtevraag 40% van onze primaire energie vraagt, biedt dit werkgebied voldoende gelegenheid om een significante bijdrage te leveren aan de nationale doelstelling om tot CO<sub>2</sub> reductie en (daarmee) verduurzaming te komen.

Na eerst de aandacht op de gebouwde omgeving te hebben gericht gaat het expertisecentrum zich nu ook bewegen binnen de industrie. Eén van de vragen die daarbij rees was welke instrumenten er beschikbaar zijn om bedrijven te helpen hun warmtevraag in kaart te brengen en de mogelijkheden te traceren om het energiegebruik dat daarmee gepaard gaat terug te dringen en/of te verduurzamen.

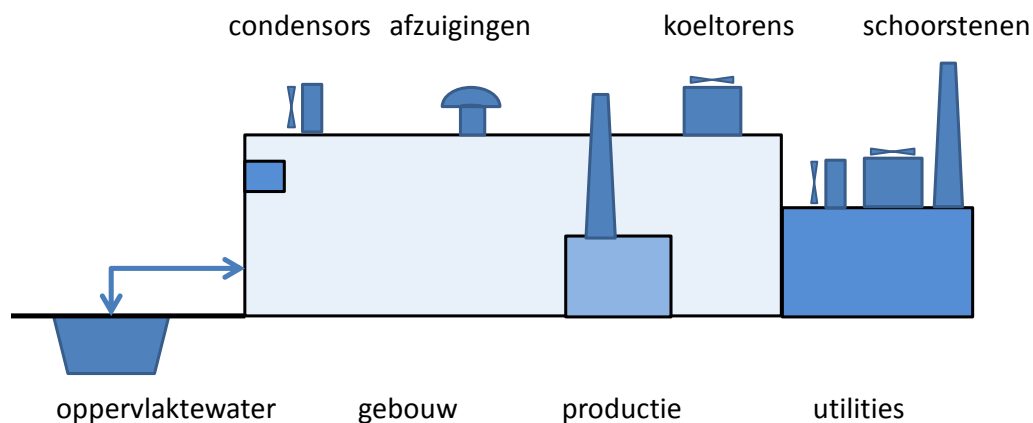
#### “Waarom een expertisecentrum?”

Het Nationaal Expertisecentrum Warmte wordt door Agentschap NL uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. NEW is één van de beleidsmaatregelen uit het ‘Werkprogramma Warmte op Stoom’. Hiermee wil de overheid de verduurzaming van warmte- en koudevoorzieningen in Nederland een extra stimulans geven. Een noodzakelijke voorwaarde voor de versnelling is een goed functionerende markt. Dat houdt onder meer in dat overheden, bedrijven en burgers voldoende moeten weten over te nemen maatregelen en financiële en CO<sub>2</sub>-effecten daarvan.

Verduurzaming van warmte en koude heeft zin, want bijna veertig procent van de energie in Nederland wordt gebruikt voor diverse vormen van nuttige warmte. Het is niet exact bekend hoeveel energie wordt omgezet naar nuttige koude, maar wel dat dit percentage groeit.” (bron : brochure NEW)

### 1.3. Leeswijzer

In deze inventarisatie is naast een beschrijving van de beschikbare instrumenten ook opgenomen hoe u kunt zien of er bij u überhaupt warmte te besparen is (hoofdstuk 2) en waarom bedrijven hiermee aan de slag zouden moeten gaan (hoofdstuk 3). Een beknopte beschrijving van de instrumenten is in hoofdstuk 4 opgenomen, de details in de bijlagen. De keuze van instrumenten voor een bepaalde situatie is middels een stroomschema opgenomen (hoofdstuk 5). In bijlage I zijn enkele bronnen opgenomen en in bijlage II is een case uitgewerkt waar in de verschillende visualisatietools zijn toegepast.



## 2. HEEFT U RESTWARMTE?

Hoe weet u nu of er überhaupt restwarmte beschikbaar is. En is de hoeveelheid voldoende om aandacht aan te besteden? Hieronder worden de belangrijkste restwarmtestromen uit productie, gebouwkoeling en utilities opgesomd en daarna volgen voorbeelden hoe u de waarde kunt kwantificeren.

### 2.1. Restwarmtestromen

#### 2.1.1. Restwarmtestromen productie

Overal waar afkoeling van producten plaatsvindt komt restwarmte vrij. Hiervoor zet men doorgaans koelwater of lucht in. De afvoer van warmte kan door lozing op oppervlaktewater, door koeltorens of door schoorstenen plaats vinden. Afkoeling van een tussenmedium kan met behulp van koelmachines (zie utilities). Overal waar producten verwarmd worden om bijvoorbeeld te drogen of te moffelen vindt verlies aan restwarmte plaats in de afzuiging en/of de schoorstenen. In het geval van drogen is dit naast voelbare ook nog de latente warmte van de waterdamp.

#### 2.1.2. Restwarmtestromen gebouwkoeling

Wanneer gebouwen geconditioneerd zijn (kantoren, labs, koel- en vriesruimtes) komt daar ook restwarmte vrij. Koeling kan met behulp van lokale koelmachines of met centraal aangemaakte koude (zie utilities).

#### 2.1.3. Restwarmtestromen utilities

Utilities zijn centraal opgestelde apparaten zoals CV-ketels, stoomketels, warmtekrachtenheden, persluchtcompressoren en koelmachines. Bij stookinstallaties bevatten de afgassen in de schoorsteen nog voelbare en latente warmte (van de waterdamp). Bij warmtekracht met behulp van gasmotoren geeft de motorkoeling warmte af. Na compressie van lucht moet deze afgekoeld worden. Hier komt ook warmte vrij. Koelmachines geven hun warmte bij de condensor af. Dit kan direct naar de lucht, via koeltorens of aan oppervlaktewater.



Restwarmtebron	capaciteit		restw.	m <sup>3</sup> ae	/ jaar
Schoorsteen stoomketel	1	ton/h	20%	50.000	€ 20.000
Schoorsteen heetwaterketel	1	MW	15%	60.000	€ 24.000
Schoorsteen rookgas indirect gestookte droger of oven	1	MW	20%	80.000	€ 32.000
Schoorsteen direct gestookte droger of oven	1	MW	70%	280.000	€112.000
Afzuiging met 50 K temperatuurverhoging	10.000	nm <sup>3</sup> /h		70.000	€ 28.000
Condensor koelinstallatie	100	kW <sub>elektrisch</sub>		160.000	€ 64.000
Condensor koelinstallatie	300	kW <sub>koude</sub>		160.000	€ 64.000
Persluchtcompressor	100	kW <sub>elektrisch</sub>	90%	35.000	€ 14.000
Koelwaterstroom met 10 K temperatuurverschil	10	m <sup>3</sup> /h		45.000	€ 18.000

Tabel 1. Indicatieve waarden voor restwarmte bij 4.000 vollasturen per jaar en een aardgasprijs van €0,40 /nm<sup>3</sup>.

## 2.2. Kwantificeren van restwarmtestromen

Voor een eerste indicatie kan een restwarmtehoeveelheid vertaald worden naar aardgasequivalent. Afhankelijk van het tarief voor aardgas dat u betaalt is dit dan om te rekenen naar een jaarlijks besparingspotentieel.

De bovenwaarde van aardgas (Slochteren kwaliteit) is circa 10 kWh/m<sup>3</sup>. Als u het vermogen van een apparaat kent en het bijbehorende aantal draaiuren dan kunt u een eerste schatting maken van het besparingspotentieel.

In de bovenstaande tabel zijn indicatieve waarden gegeven van restwarmte bij 4.000 vollasturen en een gastarief van € 0,40 / nm<sup>3</sup>. Voor uw eigen situatie kunt u zo eenvoudig beoordelen of het potentieel voldoende is om een onderzoek op te starten.

Uiteraard is het genoemde potentieel in de praktijk niet volledig te benutten en moet er vaak een flinke investering worden gedaan om de warmte op de juiste plaats en het juiste temperatuurniveau te krijgen.

Voorbeeld : u heeft een installatie die 20.000 nm<sup>3</sup>/h op 30 K boven de haltemperatuur afzuigt gedurende 2.500 uur per jaar. De indicatieve waarde van de restwarmte is dan  $(20.000 / 10.000) \times (2.500 / 4.000) \times (30 / 50) \times € 28.000 = € 21.000$  per jaar (zie tabel 1. voor referentiewaarden).





### 3. WAAROM WARMTE BESPAREN?

De redenen waarom een bedrijf met de verduurzaming van warmte aan de slag zou moeten gaan zijn ingegeven door de belangen die de verschillende stakeholders daarbij hebben. Dit zijn de aandeelhouders, de klanten, de werknemers en de omgeving.

#### 3.1. Aandeelhouders

Aandeelhouders zijn doorgaans risicomijdend en willen hun geld beleggen in bedrijven die voldoende stabiel zijn. Bedrijven die veel energie gebruiken zijn kwetsbaar voor fluctuaties in de energiemarkt. Door extreme stijgingen in de energieprijzen kan de winst verdampen en daarmee de dividenduitkering. Bedrijven die hun energiezaken goed voor elkaar hebben krijgen daarom een streepje voor op de aandelenmarkt. De laatste jaren blijkt een aantal aandeelhouders ook eisen te stellen aan duurzaamheid bij de bedrijven waarin ze investeert. Dat is gedeeltelijk op ideologische gronden, maar ook is gebleken dat bedrijven die duurzaam ondernemen vaak beter presteren. Naast stabiliteit is uiteraard ook de directe winstgevendheid van belang : bedrijven met relatief lage energiekosten kunnen een hogere winst genereren.

#### 3.2. Klanten

De klanten van een bedrijf wegen steeds meer de duurzaamheid van de bedrijfsvoering mee bij de keuze van een leverancier. Met name afnemers in de overheidsfeer, waarbij richtlijnen worden gesteld voor duurzaam inkopen. Niet alleen door centrale overheden maar ook door provincies en gemeentes. Ook supermarkten zijn deze weg ingeslagen middels convenanten. Een bedrijf dat zich aantoonbaar positief weet te profileren kan daardoor beter in de markt opereren dan een bedrijf dat daar geen aandacht aan besteedt.

#### 3.3. Werknemers

Door de vergrijzing zal het steeds moeilijker worden voor bedrijven om gekwalificeerd personeel aan te trekken. In deze arbeidsmarkt kijken potentiële werknemers steeds meer naar het imago van een bedrijf qua duurzaamheid. Bedrijven die een goed imago hebben op dit gebied en regelmatig met goede projecten de krant halen zijn voor veel jongeren een aantrekkelijke werkgever.



### 3.4. Omgeving

Wat heeft de reductie van het warmtegebruik voor een invloed op de omgeving?

De reductie heeft een positief effect op het milieu en het uitkoppelen van restwarmte kan ook een kostenvoordeel opleveren bij gebruikers in de omgeving.

Als de restwarmte geloosd wordt op oppervlaktewater dan heeft reductie een positief effect op de waterkwaliteit. Wanneer restwarmte via koeltorens naar buiten wordt gebracht dan heeft reductie daarvan effect op de visuele hinder, eventuele schaduwwerking en/of de beleving (omwonenden zien een damppluim voor rookpluim aan).

Bedrijven die aan energiebesparing doen vinden het bevoegd gezag aan hun zijde.

Door inspanningen op dit gebied ontstaat er een betere relatie met het bevoegd gezag (mits er natuurlijk geen andere knelpunten zijn).

Naast reductie is uiteraard ook warmte uitwisseling mogelijk. Met restwarmte kunnen direct of indirect (via aquifers) woningen worden verwarmd. Overtollige stoom uit een WKC kan ingezet worden bij nabijgelegen bedrijven voor stoomgebruik, verwarming en/of koudeopwekking.

Samenvattend kan gesteld worden dat, mits binnen economische randvoorwaarden geopereerd wordt, alle stakeholders positief staan ten aanzien van reductie van het warmtegebruik.



## 4. WELKE TOOLS ZIJN ER OP DE MARKT?

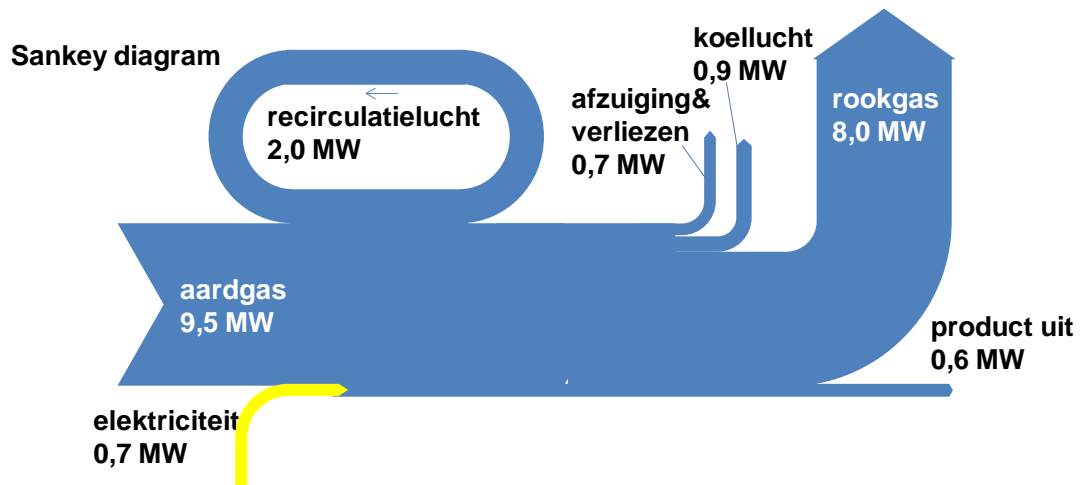
Onder tools kan worden verstaan de visualisatie en analyse van warmtestromen, de ondersteunende software en/of het advies voor een aanpak om tot verbeteringen te komen. Bij een complex onderwerp als restwarmtebenutting zijn tools die de communicatie en analyse ondersteunen van groot belang. Vandaar dat veel methoden geënt zijn op de weergave van de situatie middels diagrammen. Alvorens in hoofdstuk 4 tot een selectie van de analysemethode te komen volgt in 3.1 eerst een beschrijving van de visualisatie en analyse methoden. Daar horen ook de verschillende adviestools bij (3.2).

### 4.1. Visualisatie & analysemethoden

Voor de visualisatie van restwarmtestromen zijn een aantal technieken in omloop waarvan de bekendste zijn:

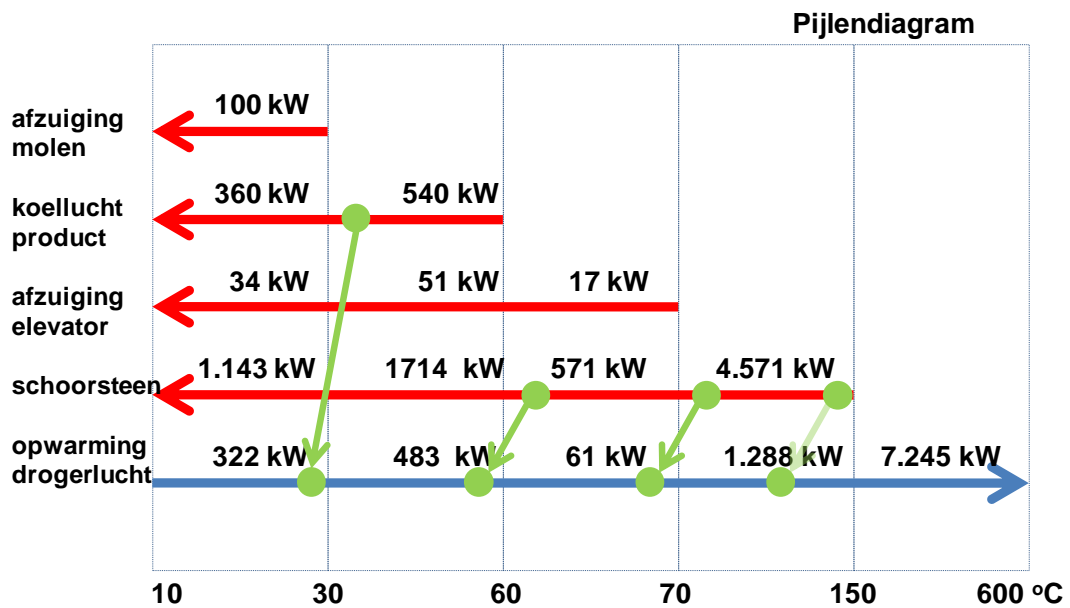
- Sankey diagram
- Pijlendiagram
- Blokjesdiagram
- Pinch diagrammen
- Grassmann diagram

In Appendix I is een bronverwijzing opgenomen en in Appendix II is aan de hand van een case de achtergrond van de hier gepresenteerde figuren nader toegelicht.



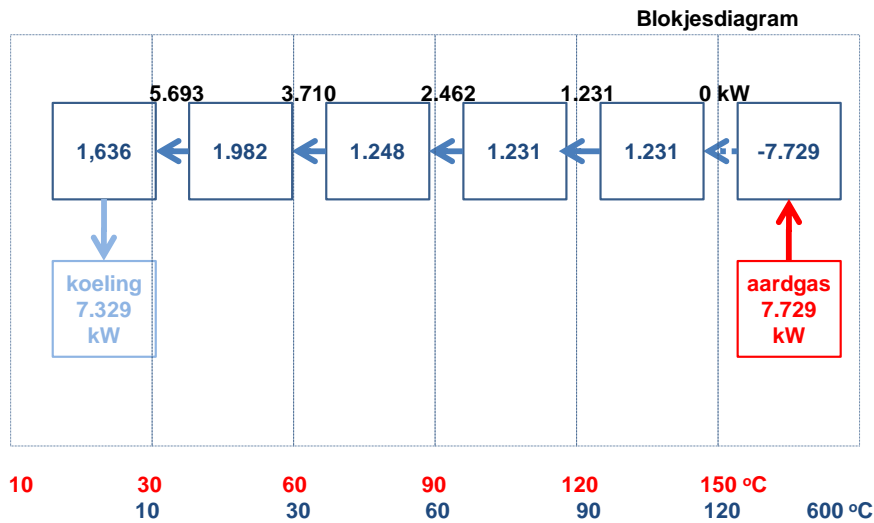
#### 4.1.1. Sankeydiagram

Een Sankey diagram levert inzicht op in de energiebalans rond een bedrijfsonderdeel zoals een droger, maar net zo goed van een land als geheel. De breedte van de pijlen is een maat voor het vermogen of voor de energiehoeveelheid. In Appendix II is de achtergrond van dit diagram weergegeven.



#### 4.1.2. Pijlendiagram

Een pijlendiagram geeft de warmtestromen weer op het bijbehorende temperaturniveau. Samen met de warmtecapaciteit van de betreffende stroom kan voor een eenvoudige situatie een geschikte plaats voor warmtewisselaars worden bepaald. In de bovenstaande figuur zijn de beschikbare warmtestromen in het rood weergegeven (pijlen naar links) en de op te warmen stroom in het blauw (pijl naar rechts). Uit de vermogens in de verschillende temperatuursegmenten is af te leiden waar de mogelijkheden van restwarmtebenutting liggen. De schuine, groene pijlen geven aan waar warmtewisselaars geplaatst kunnen worden. In de bijlagen wordt dit figuur nader toegelicht.

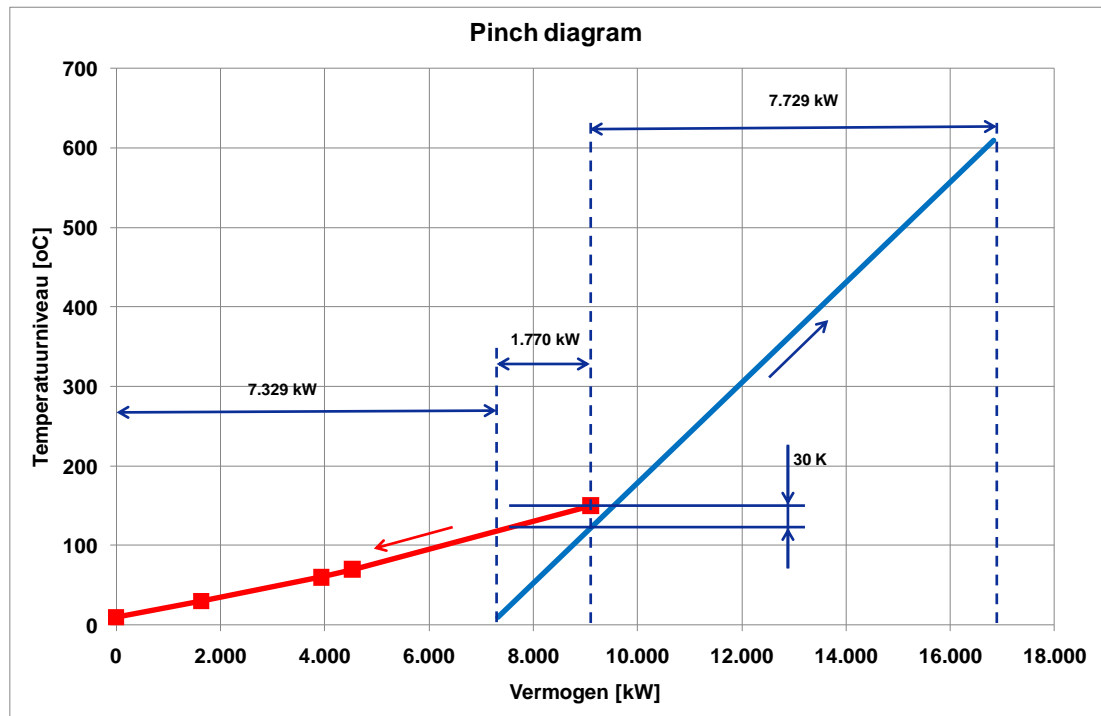


#### 4.1.3. Blokjesdiagram

Een blokjesdiagram is ook een hulpmiddel om voor een eenvoudige situatie de optimale lay-out van een systeem met warmtewisselaars vast te stellen. Hiermee bepaalt men ook hoeveel warmte en koude er in theorie minimaal nodig is om een proces te kunnen bedienen.

De getallen in de blokjes geven aan wat het warmteoverschot is in het betreffende temperatuursegment. De warmtesegmenten worden zo gekozen dat warmteoverdracht mogelijk is. Hiervoor moeten de op te warmen stromen (temperatuuraanduiding in blauw) lager in temperatuur zijn dan de af te koelen of restwarmtestromen (rood).

Een overschot aan warmte in een segment kan doorgegeven worden aan een blokje in een lager temperatuursegment. Wat over blijft in het blokje van het laagste temperatuursegment moet afgevoerd of gekoeld worden. In dit voorbeeld hoeft alleen aan het blokje met het hoogste temperatuurniveau energie van buiten (aardgas) te worden toegevoerd.

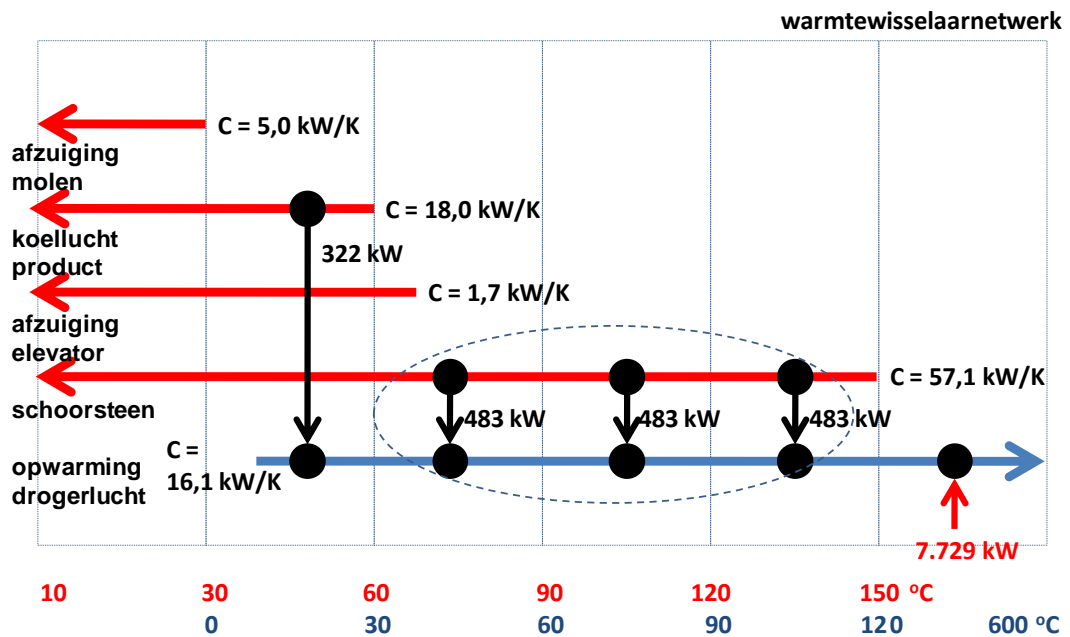


#### 4.1.4. Pinchdiagram

Een pinchdiagram geeft zowel vermogens als temperatuurniveaus weer. De procesgegevens worden daartoe verwerkt in een diagram waarin een tweetal cumulatieve lijnen zijn weergegeven:

- hot streams (alle af te koelen stromen, inclusief restwarmte)
- cold streams (sommatie van alle op te warmen stromen)

De kunst is om zoveel mogelijk warmte van de hot streams naar de cold streams te brengen zonder daar voor extra warmte toe te hoeven voeren. Voor de overdracht is een minimaal temperatuurverschil nodig. De plaats waar de curven elkaar met dit temperatuurverschil het dichtst naderen wordt de pinch (insnoering) genoemd. Uit het diagram leidt men het potentieel aan restwarmtebenutting (1.770 kW), de theoretisch minimale behoefte aan warmte (7.729 kW) en koude (7.329 kW) af. Verder is snel het zien of er mogelijkheden zijn voor warmtepompen en warmtekrachtsystemen. In de bijlage is een nadere omschrijving opgenomen.



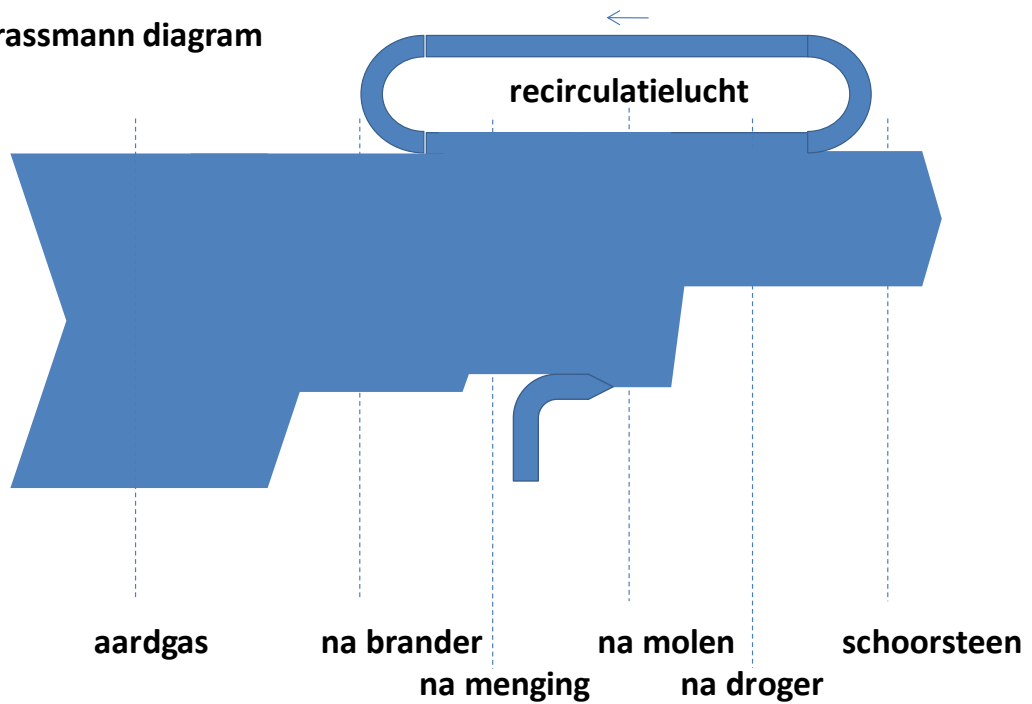
#### 4.1.5. Warmtewisselaarnetwerk

Als de pinchtemperatuur bekend is, kan men aan de hand van ontwerpregels de warmtewisselaars configureren. Hiertoe wordt het pijlendiagram ingezet, waarbij de warmtewisselaars op de verschillende temperaturniveaus worden ingetekend. Het verschil met het eerder beschreven pijlendiagram is de asverschuiving die men toe past van de koude ten opzichte van de warme stromen ter grootte van het minimaal benodigde temperatuurverschil over de warmtewisselaars (hier 30 K). Een nadere omschrijving volgt in de bijlage.





### Grassmann diagram



#### 4.1.1. Grassmandiagram

Een Grassman diagram geeft de exergiestromen weer. De exergie van een warmtestroom is een maat voor de kwaliteit (temperatuurniveau) en is daarmee een maat voor de hoeveelheid elektriciteit die er mee kan worden opgewekt. De exergie analyse wordt dan ook vooral toegepast in warmtekrachtcentrales waarbij het opwekken van elektriciteit en warmte beiden van belang zijn.



## 4.2. Adviestools

Er zijn door (voorgangers van) AgentschapNL in de loop der jaren verschillende tools ontwikkeld om de impact van advisering te verbeteren. Daarnaast hebben ook marktpartijen adviestools ontwikkeld, veelal met ondersteuning van overheden. Enkele relevante tools zijn:

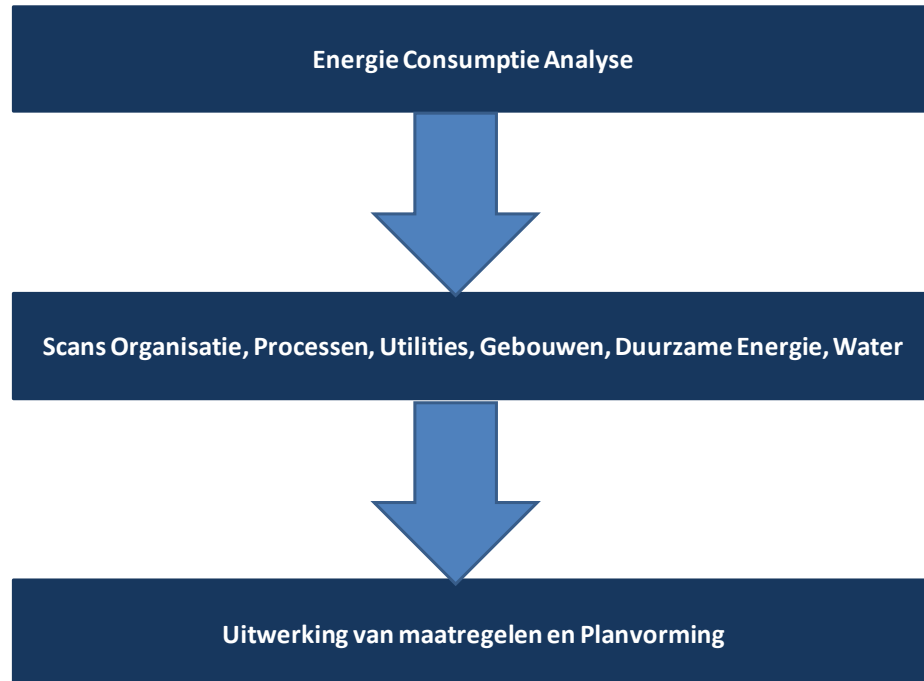
- Energiedoorlichting
- Energie Potentieel Scan
- Procesintegratie analyse
- Duurzame energie scan
- Thermal audit (Einstein)

### 4.2.1. *Energie Doorlichting*

Vanuit de Wet Milieubeheer maar ook vanuit de MJA biedt vrijwel ieder energie adviesbureau de mogelijkheid aan om een energiedoorlichting uit te voeren. Een energiedoorlichting bestaat uit het samenstellen van een energiebalans, het genereren van maatregelen, het bepalen en van kosten en baten van de maatregelen en het samenstellen van een samenvattend eindrapport. Bij een goede doorlichting worden ook de restwarmtestromen geïnventariseerd. Dit zijn niet alleen schoorstenen maar ook plaatsen waar het product wordt afgekoeld of waar koeltorens en dergelijke staan.



## Energie Potentieel Scan



### 4.2.2. *Energie Potentieel Scan*

Een Energie Potentieel Scan is een Energie Doorlichting, waarbij de adviseur als procesbegeleider optreedt en het bedrijf een groot deel van de werkzaamheden zelf uit voert. De methode is bij Philips ontwikkeld. Het bedrijf verzamelt de benodigde gegevens voor een energiebalans. Het genereren van maatregelen gebeurt in zogenaamde scansessies onder begeleiding van de adviseur, waarbij meerdere personen uit het bedrijf betrokken zijn. Uit deze gestructureerde brainstormen volgen een groot aantal besparingsideeën (bij een gemiddeld bedrijf tussen de 100 en 200 stuks). De besparingsopties worden vervolgens bij voorkeur door het bedrijf zelf uitgewerkt tot een energiebesparingplan. Naast technische maatregelen bevat het plan ook organisatorische zaken zoals de aanzet naar een energiezorg systeem. Door de geschetste aanpak wordt optimaal gebruik gemaakt van de expertise binnen het bedrijf en wordt een groot draagvlak gecreëerd om de maatregelen ook daadwerkelijk uit te voeren.

Enkele tientallen adviseurs hebben de opleiding tot de Energie Potentieel Scan volgens het zogenaamde participatieve adviesmodel gevolgd.



#### 4.2.3. *Procesintegratie analyse*

Bij een procesintegratie analyse worden alle op te warmen, af te koelen en restwarmtestromen in kaart gebracht. Voor eenvoudige bedrijven tot zo'n 10 a 20 stromen kan met behulp van een spreadsheet en pinch visualisatie, een pijlen en een blokjesdiagram wel een optimaal warmtewisselaar netwerk worden vastgesteld. Loopt dit aantal op, zoals in de petrochemische industrie, dan is de inzet van specialistische software noodzakelijk. Deze software kan doorgaans behalve een energetische optimalisatie ook een economische optimalisatie uitvoeren. Op basis van afstanden tussen coördinaten van warmtewisselaars (in verband met afstanden), kostengegevens en andere randvoorwaarden kan de software met een keuzevoorstel komen. Wanneer bepaalde koppelingen ongewenst zijn, door bijvoorbeeld materiaaleigenschappen, kan deze optie geblokkeerd worden waarna het programma met een nieuw voorstel komt.

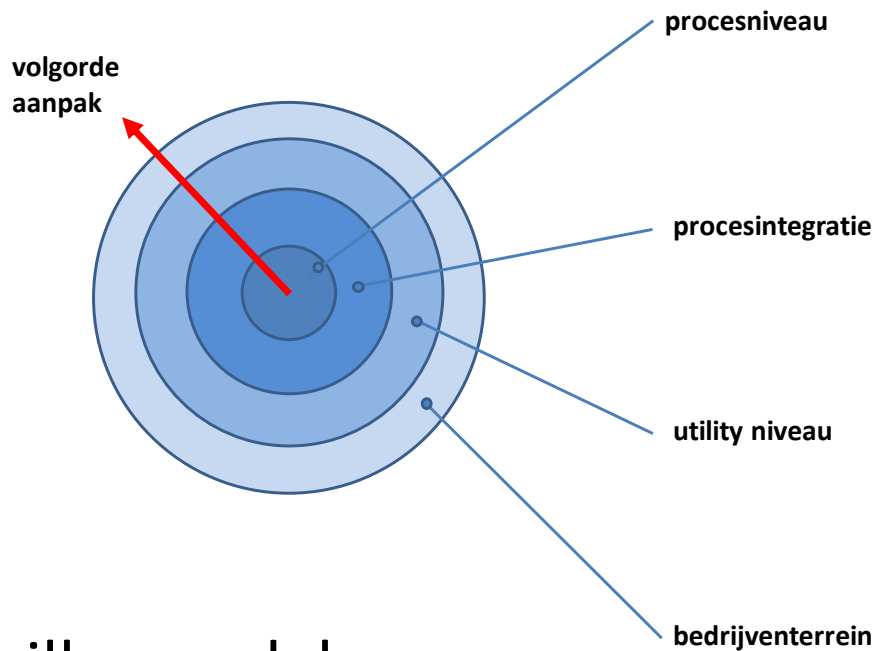
Behalve de inpassing van warmtewisselaars kan ook berekend worden wat het effect is van warmtepompen en warmtekracht systemen. Zo kan door met een warmtepomp de temperatuur van een restwarmtestroom te verhogen soms een warmtevragende stroom worden gevoed. Als de temperatuurlift niet te hoog is vraagt dit weinig elektriciteit.

#### 4.2.4. *Duurzame Energie Scan*

Een Duurzame Energie Scan is een door AgentschapNL in het kader van de MJA ontwikkelde methode om bedrijven te interesseren voor het gebruik van duurzame energie. Deze scan vindt op managementniveau plaats en maakt gebruik van zogenaamde dashboards om de kansen kwalitatief te beoordelen. Het resultaat is een gestandaardiseerd rapport waarin de meest kansrijke opties voor de inzet van zon, wind, biomassa, warmte- en koudeopslag in de bodem en geothermie zijn aangegeven.

#### 4.2.5. *Thermal Audit*

In Europees verband is een thermal audit ontwikkeld die de naam "Einstein" heeft meegekregen. De bedrijven met relatief eenvoudige processen kunnen in enkele mandagen doorgelicht worden op de kansen van warmteterugwinning, zon, warmtepompen en warmtekracht. Hiertoe is een freeware softwaretool ontwikkeld met een rapportgenerator in Open Office. De tool is nog volop in ontwikkeling maar al bij tientallen bedrijven uitgetest.



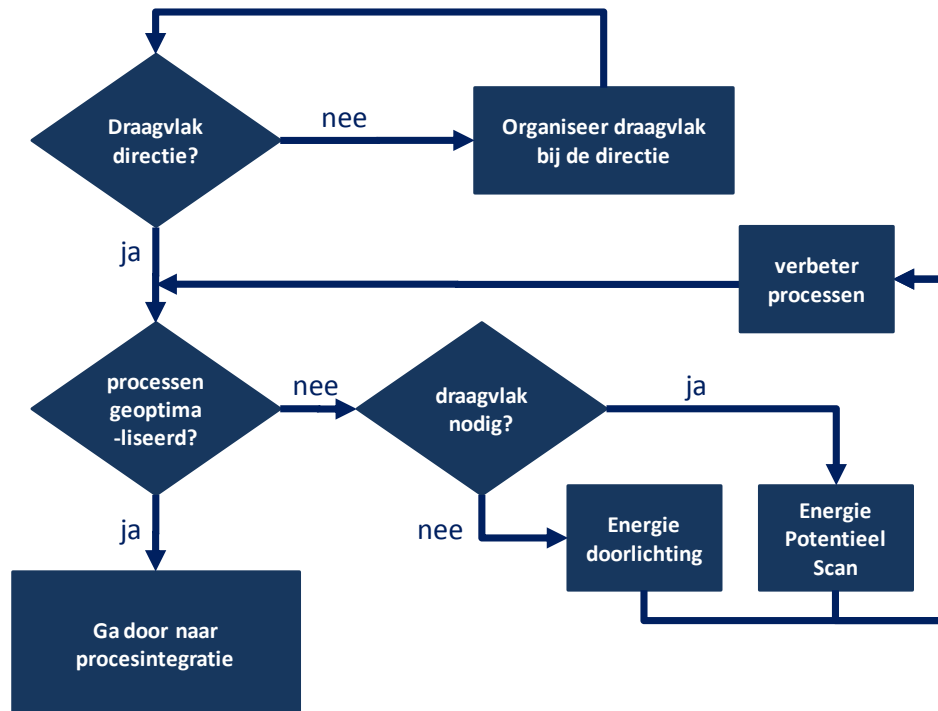
## Schillenmodel

### 5. WELKE TOOL IS GESCHIKT?

Welke warmte tool geschikt is voor welke situatie is niet eenduidig aan te geven. Belangrijk is dat de kosten van maatregelen doorgaans hoger worden naarmate ze verder van het proces af staan : begin eerst met besparen op procesniveau, dan met procesintegratie, dan met de utiliteiten en als laatste mogelijkheid pas met de warmte uitwisseling met de omgeving. Deze aanpak wordt het schillenmodel genoemd. Op deze manier wordt er voorkomen dat er investeringen worden gedaan die men later betreurt omdat door procesverbetering warmte uitwisseling niet meer rendabel blijkt te zijn. Het genoemde schillenmodel krijgt een nadere uitwerking aan de hand van beslis schema's.



## Procesverbetering



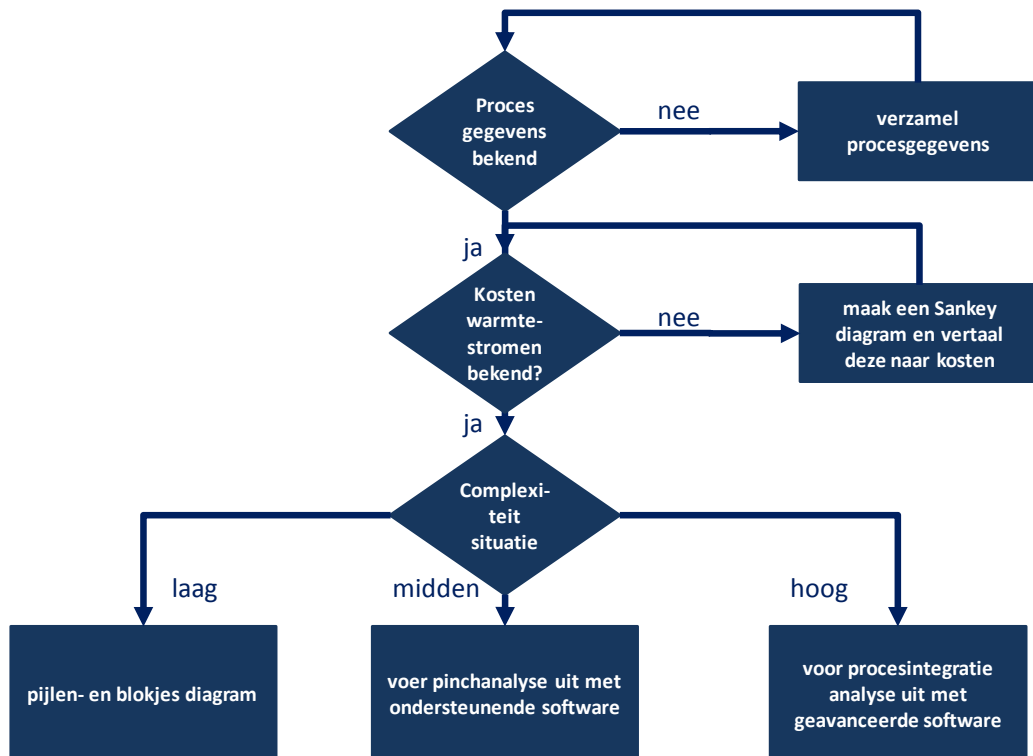
### 5.1. Procesbesparingen

Projecten op het gebied van warmtegebruik hebben vaak met meerdere afdelingen binnen een bedrijf te maken. Daarnaast is de rentabiliteit van deze projecten met name in bestaande situaties vaak lager dan concurrerende investeringen. Het is daarom van groot belang om draagvlak bij de directie te creëren. Pas dan heeft het zin (menselijke) energie in warmtereductie te steken.

Vanuit het schillenmodel is het zaak eerst te kijken of de bestaande processen geoptimaliseerd zijn. Zijn de setpoints optimaal? Is binnen het proces warmteterugwinning toegepast? Kunnen de voedingstemperaturen omlaag? Kan bij droogprocessen eerst mechanisch verder worden ingedroogd? Als dit niet goed bestudeerd is kan beter eerst een algemeen onderzoek worden uitgevoerd. Als het binnen uw bedrijf moeilijk is projecten in de uitvoering te krijgen verdient het aanbeveling de Energie Potentieel Scan methode daarvoor in te zetten om draagvlak te creëren. Pas als u zeker weet dat de processen optimaal zijn ingericht kunt u zich buigen over het (complexere) vraagstuk van procesintegratie.



## Procesintegratie analyse



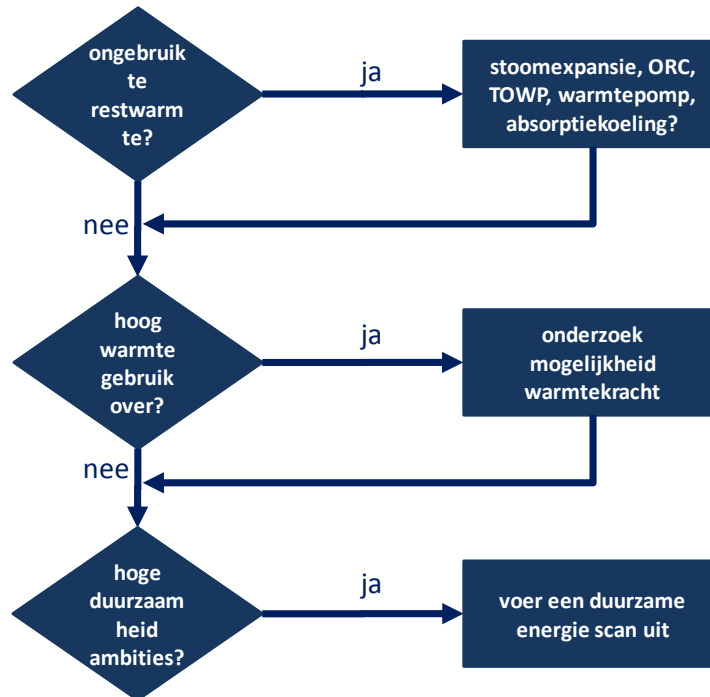
### 5.2. Procesintegratie

Alvorens te kiezen voor de methodiek van procesintegratie analyse kan het geen kwaad eerst alle procesgegevens te verzamelen. Het betreft massastromen, soortelijke warmte en temperatuurniveaus. Hoeveel processen lenen zich eigenlijk voor warmte uitwisseling? Dit zijn in bestaande situaties vooral processen die indirect gevoed worden. Bijvoorbeeld door een stoomwarmtewisselaar die een lokaal heet watercircuit voedt. Een externe voeding is dan eenvoudig in de retour van het heetwatersysteem te plaatsen zonder te hoeven ingrijpen in het primaire proces (met alle validaties die daarvoor nodig zijn).

Een volgende stap is de procesgegevens te vertalen naar een energiebalans waar ook de kosten uit blijken. Hiervoor kan een Sankeydiagram worden ingezet. Uit het diagram blijkt de complexiteit. De kosten die met de warmtestromen gemoeid zijn bepalen of het zin heeft de mogelijkheden van restwarmtebenutting te onderzoeken. Als u inzicht heeft in de complexiteit en kosten kunt u uw weg vervolgen in het kiezen van ondersteuning. Bij eenvoudige situaties kunt u met een beetje ondersteuning een spreadsheet opzetten en de berekeningen maken. Wordt het complexer dan komt een pinch analyse met ondersteunende software zoals Einstein in beeld. Bij zeer complexe situaties loont het om gespecialiseerde adviesbureaus in de arm te nemen die software in huis heeft om technische en economische optimalisaties uit te voeren aan de hand van zogenaamde lineaire programmering.



## Utilitie analyse



### 5.3. Utilities

Als alle logische warmtekoppelingen zijn bepaald volgt de vraag of de utilities aangepast kunnen worden.

Is er ongebruikte restwarmte dan is afhankelijk van het temperatuurniveau, het vermogen en het aantal draaiuren te bezien welke technieken in aanmerking komen om deze nuttig in te zetten. Bij een voldoende hoog temperatuurniveau is elektriciteitsopwekking mogelijk met bijvoorbeeld een stoomexpansieturbine of een Organic Rankine Cycle. Is er nog voldoende warmte nodig op een iets hoger temperatuurniveau dan komen de warmtepompen in beeld, elektrisch of thermoakoestisch. Maar dan moet de temperatuursprong niet te groot zijn. Als er warmte over is op een temperatuurniveau  $> 80$  °C kan overwogen worden hier koude van te maken middels een absorptiekoelmachine.

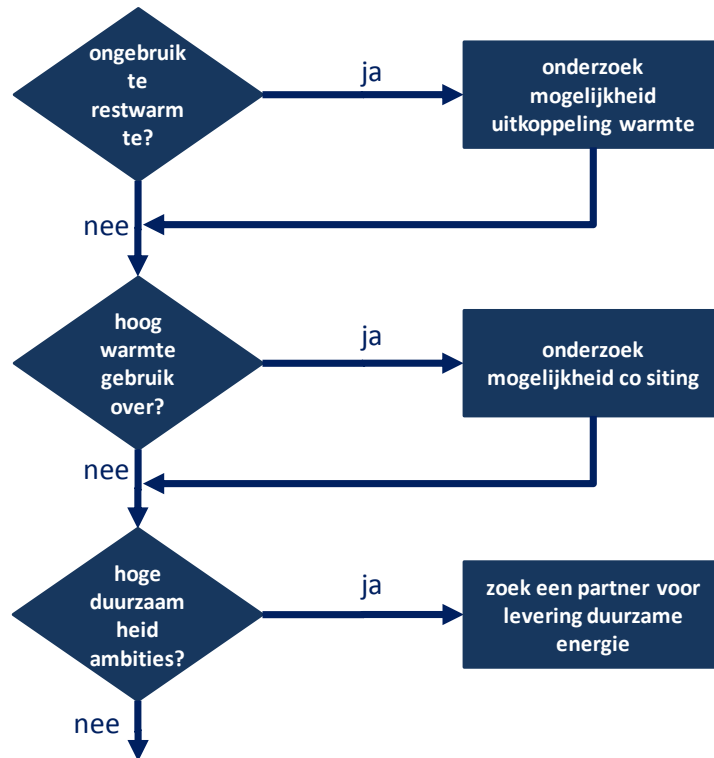
Is de balans zodanig dat u nog steeds veel warmte gedurende een groot deel van het jaar nodig heeft dan is warmtekracht een serieuze optie.

Als alle bovenstaande maatregelen zijn getoetst en het fossiel energiegebruik is geminimaliseerd dan komt volgens het schillenmodel pas de opwekking op basis van duurzame energie aan de orde. Om de kansen in kaart te brengen kan een duurzame energie scan worden ingezet.





## Omgevings analyse



### 5.4. Warmte uitkoppeling

Als er nog steeds warmte over is kan gekeken worden naar uitkoppeling van warmte naar de omgeving. Is er een woonwijk of een industrie in de buurt die de overtollige warmte nuttig kan inzetten. Voor een woonwijk kan gekozen worden voor rechtstreekse inzet en/of voor regeneratie van een seizoenopslag (aquifer) in de bodem.

De stoom en/of warmtevraag is door de voorgaande stappen al gereduceerd. Is de overblijvende hoeveelheid voldoende interessant om aansluiting te zoeken bij een co-siting project. Misschien hebben burens door sluiting van een fabrieksonderdeel stoom over vanuit hun warmtekrachtcentrale. Soms bieden partijen energie aan vanuit een centrale op een bedrijvenpark. Het komt ook voor dat een AVI (Afval Verbrandings Installatie) de restwarmte niet zelf kan inzetten. Het produceren van elektriciteit is vooral tijdens de dal-uren economisch minder interessant. Directe inzet van stoom in uw proces kan dan een win-win situatie opleveren.



### 5.5. Timing

De bovenstaande beschrijving zou de indruk kunnen wekken dat de aanpak een lineair proces is. In de praktijk is het eerder een iteratief proces waarbij ook de randvoorwaarden constant wijzigen. De grootste kansen ontstaan op het moment van revisie of nieuwbouw. Het is goed om de plannen dan al gereed te hebben omdat bij warmtereductie veel in- en externe partijen betrokken kunnen zijn die de nodige procestijd nodig hebben. Start daarom vandaag nog met het inventariseren van de mogelijkheden zodat uw bedrijf gereed is voor de toekomst. Deze handreiking kan daarbij een hulp zijn om u te behoeden voor het overslaan van essentiële stappen in het proces om tot een duurzaam bedrijf te komen.

### 5.6. Zelf doen of uitbesteden

Tot slot de vraag wie de geselecteerde restwarmteprojecten kan trekken en/of financieren. Voor veel bedrijven is de focus geconcentreerd op de markt en de productiecapaciteit en kwaliteit, veel minder op de kostenoptimalisatie rond processen en utilities. Gelukkig zijn er steeds meer toeleverende bedrijven zoals Energy Service Companies (Esco's) die risicodragend in energiebesparende projecten willen stappen. Zij nemen u de zorg uit handen zodat projecten genoeg aandacht krijgen en geven u ook financiële ruimte. Outsourcing van activiteiten om restwarmte te benutten is daarom het overwegen waard.

In de bijlage wordt een case behandeld aan die de basis vormt van de eerder gepresenteerde figuren.



## Appendix I. BRONNEN EN VERWIJZINGEN

Adviseurs die ondersteuning kunnen bieden bij de verschillende soorten energiedoorlichtingen:

[www.fedec.nl](http://www.fedec.nl)

Handleiding Energiebesparingsonderzoeken, Infomil brochure E16, free download in pdf, [www.infomil.nl/publish/pages/68292/e16.pdf](http://www.infomil.nl/publish/pages/68292/e16.pdf)

Boek met korte beschrijving analysemethoden:

Energie en Productie, A.J.D. Lambert, 2001, Lemma, EAN: 9789051898415, ISBN-10: 905189841x (uitverkocht, alleen verkrijgbaar via 2<sup>e</sup> hands markt).

Overzicht van Softwaretools voor sankeydiagrammen e.d.

<http://www.sankey-diagrams.com/sankey-diagram-software/>

Pinch analyse met ondersteunende analyse software en rapportgenerator :

Einstein – [www.iee-einstein.org](http://www.iee-einstein.org)

Artikel over pinch en exergie, Polytechnisch tijdschrift, januari 1992, drs. A.J. Hoogendoorn,

[www.gasunie.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/1992/2409677/2409677.pdf](http://www.gasunie.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/1992/2409677/2409677.pdf)

Artikel over Procesoptimalisatie, Conceptueel Procesontwerpen,

<http://gasunie.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/2004/296090/2960905.pdf>

Een handboek voor procesintegratie analyse:

Kemp, I.C. (2006). *Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, 2nd edition*. Includes spreadsheet software. Butterworth-Heinemann. **ISBN 0750682604**. (1st edition: Linnhoff et al., 1982).

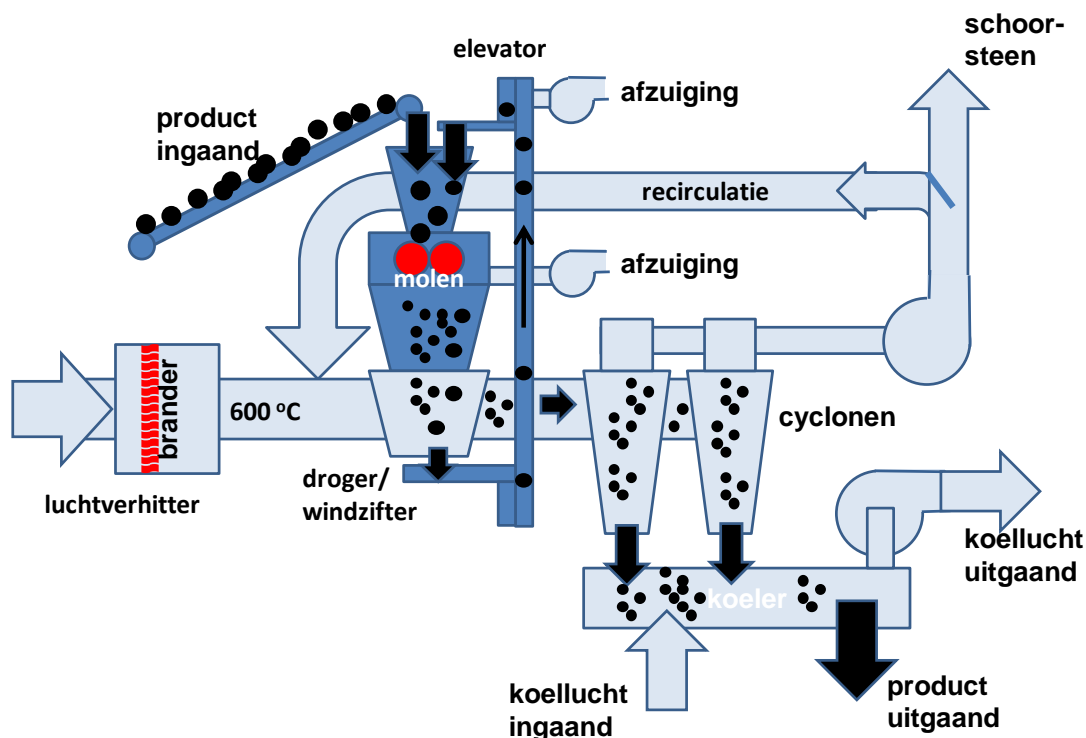
Procesintegratie analyse van complexe systemen met behulp van optimalisatie software Supertarget en/of Advent :

[www.kbcat.com](http://www.kbcat.com); [www.process-design-center.com](http://www.process-design-center.com)



## **Appendix II.      UITGEWERKTE CASE**

Om een indruk te geven van de besproken tools wordt in deze bijlage in meer detail de achtergronden van de figuren gegeven. Daarbij is gebruik gemaakt van een gemodificeerde case zoals in de praktijk voor komt. Achtereenvolgens wordt de case zelf beschreven, het Sankey diagram, Het Grassmann diagram, het pijlendiagram, het blokjesdiagram, het pinchdiagram en het ontwerp van een warmtewisselaarnetwerk.



## II.1. Casebeschrijving

Het proces bestaat uit het malen en drogen van slak. De slak uit een hoogovenproces wordt gekoeld en gestold met water. Na opslag en transport heeft het nog een vochtgehalte van 13% op natte basis. De brokken vallen via een trechter in de molen. Onder de molen is een windzifter waar het gruis wordt gescheiden van de grotere stukken. Het grove materiaal wordt met een elevator opnieuw naar de molen gebracht. Het gruis wordt via een hete luchtstroom gedroogd. Door cyclonen wordt het product verder afgescheiden van de luchtstroom en naar de schudbedkoeler gevoerd. Na afkoeling verlaat het product het proces.

De verse lucht wordt via een kanaalbrander opgewarmd tot circa 600 °C. Na opmenging met recirculatielucht gaat het de droger in. Door opname van water daalt de temperatuur. Na de cyclonen wordt een deel gerecirculeerd en verlaat de rest van de lucht het systeem via een stoffilter en een schoorsteen.

Op een tweetal plaatsen wordt lucht afgezogen om stofoverlast naar de omgeving te voorkomen. Voor deze vereenvoudigde case worden deze stromen naar het filter en de schoorsteen gebracht.

Let wel : de case is gemodificeerd ten opzichte van de werkelijkheid om de overzichtelijkheid te bewaren!



	energie	temp	exergie
	MW	oC	MW
aardgas	9,50		9,03
na brander	9,50	600	6,42
recirculatie	2,00	150	0,66
na menging	11,50	375	6,48
elektriciteit	0,70		0,70
na molen	12,20	375	6,87
na droger	12,20	150	4,04
afzuiging molen	0,10	30	0,01
afz elevator	0,10	70	0,02
transmissie	0,50	10	-
recirculatie	2,00	150	0,66
schoorsteen	8,00	150	2,65
product	0,60	50	0,07
koellucht	0,90	60	0,14

## II.2. Energiebalans

Als eerste stap zijn de energiewaarden van de verschillende stromen op de verschillende plaatsen in het systeem berekend. Naast de voelbare warmte (zie onderstaande vergelijking) is ook de latente warmte (condensatiewarmte) in rekening gebracht.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Als referentietemperatuur is 10 °C aangehouden, de gemiddelde temperatuur in Nederland.

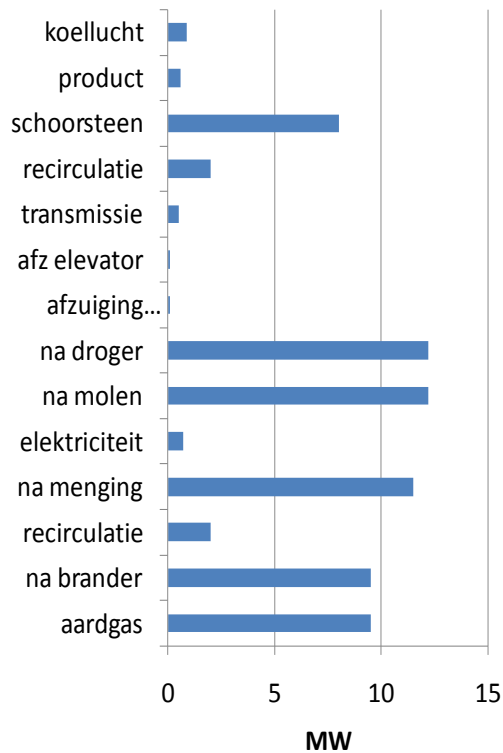
Naast de energiewaarden zijn ook de exergiewaarden berekend. Exergie geeft de kwaliteit van de energie weer en wordt ook in vermogen (in dit geval MW) uitgedrukt. Eenvoudig gezegd is de exergie een maat voor de kwaliteit van warmte (temperatuur) en daarmee het theoretisch vermogen om elektriciteit te produceren. De exergiewaarde van elektriciteit is dan ook gelijk aan het elektrisch vermogen. Die van aardgas is 95% van de stookwaarde. Voor massastromen moet het thermisch vermogen vermenigvuldigd worden met de Carnot-factor. Deze is gedefinieerd als het quotiënt van het verschil in temperatuur ten opzichte van de referentietemperatuur en de temperatuur van de massastroom (in Kelvin):

$$\text{Carnot} = \frac{\{T - T_{ref}\}}{T} = 1 - \frac{T_{ref}}{T}$$

Zo is de Carnot factor voor de lucht in de schoorsteen,

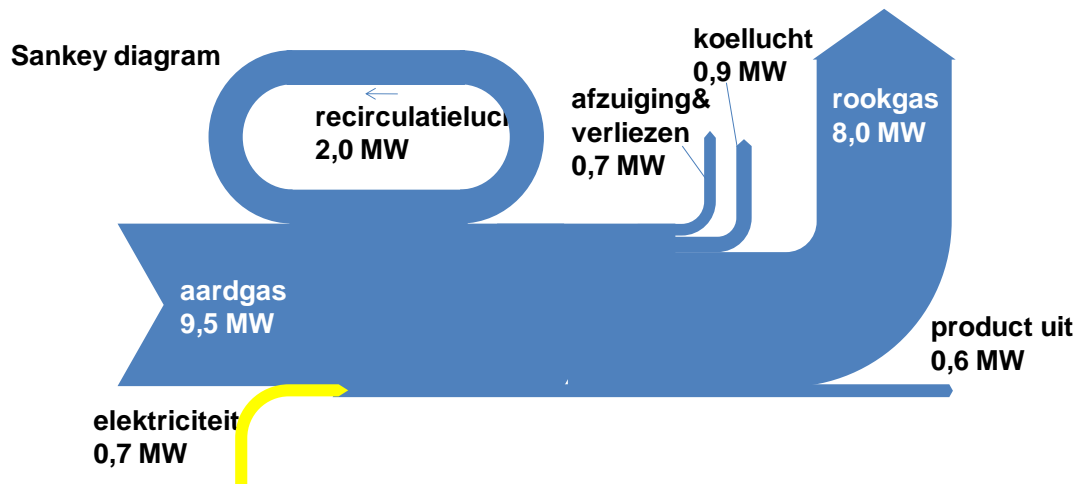
$$1 - \frac{10 + 273,15}{150 + 273,15} = 33\%$$

Van het thermisch vermogen van 8 MW is dus in theorie 2,65 MW elektriciteit te maken. In de praktijk komt daar nog een systeemrendement van rond de 60% over heen.



### II.3. Energiestromen

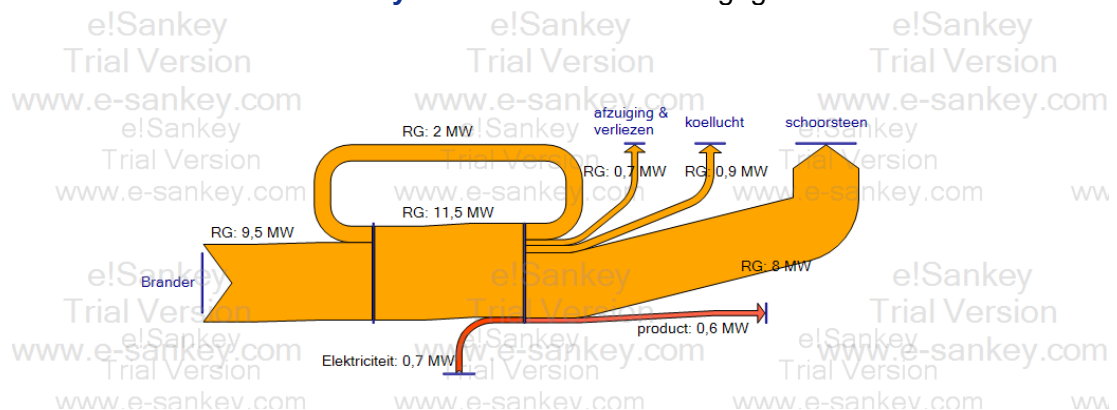
Een grafische weergave van de energiestromen laat zien waar de grote energiestromen in het systeem zitten. Dit is met name de aardgasstroom en de energiestroom na de molen waar alle energiestromen, ook het elektriciteitsgebruik, samenkomen. Omdat het droogproces vrijwel adiabatisch verloopt blijft deze energiestroom gelijk. Deze grafische weergave kan ook gebruikt worden om een Sankeydiagram weer te geven. De lengte van de staven in het diagram kan binnen powerpoint gebruikt worden om de dikte van de pijlen aan af te meten.



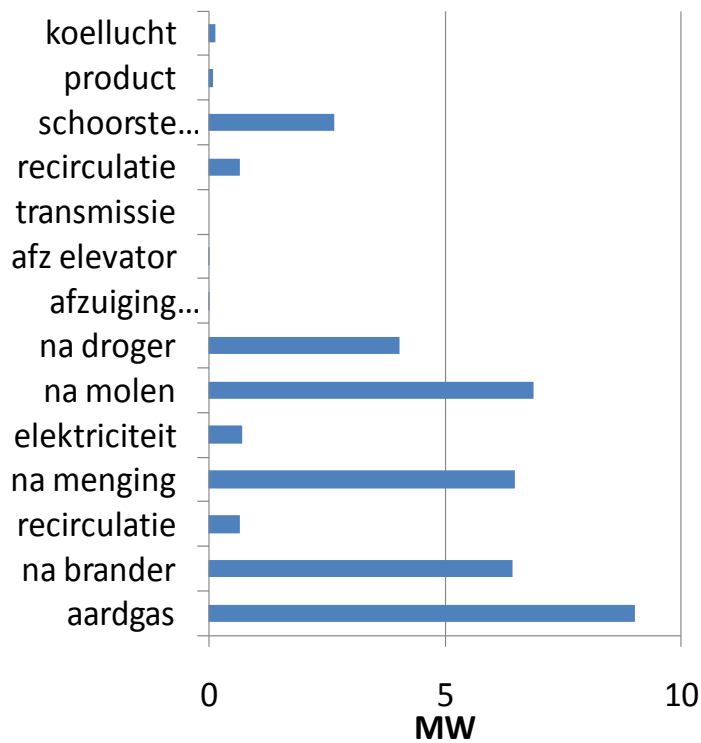
#### II.4. Sankeydiagram

Een Sankeydiagram laat zien hoe de energiestromen in een systeem verlopen aan de hand van pijlen. De dikte van de pijlen is een maat voor de energiehoeveelheid of voor een vermogen. De recirculatielucht met een waarde van 2 MW wordt na de droger afgetapt en aan de branderlucht toegevoegd. De elektriciteit van de molen is terug te vinden in de drogerlucht als toegevoegde warmte. De afzuigingen en de transmissieverliezen zijn samengevoegd omdat deze relatief klein zijn. De energie inhoud van het product dat de koeler verlaat vertegenwoordigt nog altijd 0,6 MW thermisch. De warmtestroom uit de schoorsteen bevat een groot deel latente warmte. De ingaande energiestromen moeten samen gelijk zijn aan alle uitgaande stromen (1<sup>o</sup> hoofdwet). Er wordt 10,2 MW aan aardgas en elektriciteit toegevoerd. Het totaal aan afzuiging, schoorsteen, koellucht en productwarmte is eveneens 10,2 MW. De recirculatielucht blijft in het systeem en telt daarom niet mee in deze balans.

Behalve met powerpoint zijn er legio tools beschikbaar die het mogelijk maken een sankeydiagram te maken. Een voorbeeld van een diagram aangemaakt met een trial versie van [www.e-sankey.com](http://www.e-sankey.com) is hier onder weergegeven.





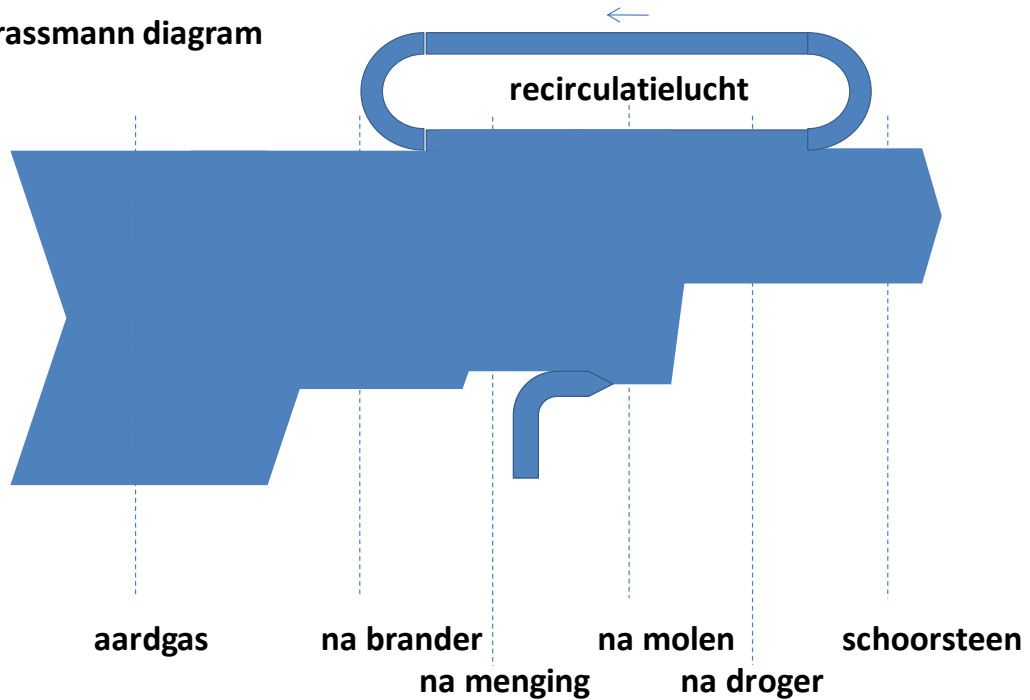


## II.5. Exergiewaarden

De grafische weergave van de exergie waarden vertoont veel meer variatie dan de energiewaarden. Dat komt door de exergie reductie na een temperatuurdaling. De exergiewaarde van transmissieverliezen is 0 omdat de verlieswarmte de omgevingstemperatuur aan neemt. De exergiewaarden van de afzuigingen, het product en de koellucht zijn minimaal vanwege de lage temperaturen. Ook dit diagram kan gebruikt worden om in powerpoint de breedte van de pijlen op te nemen, dit keer voor het Grassmann diagram.



### Grassmann diagram

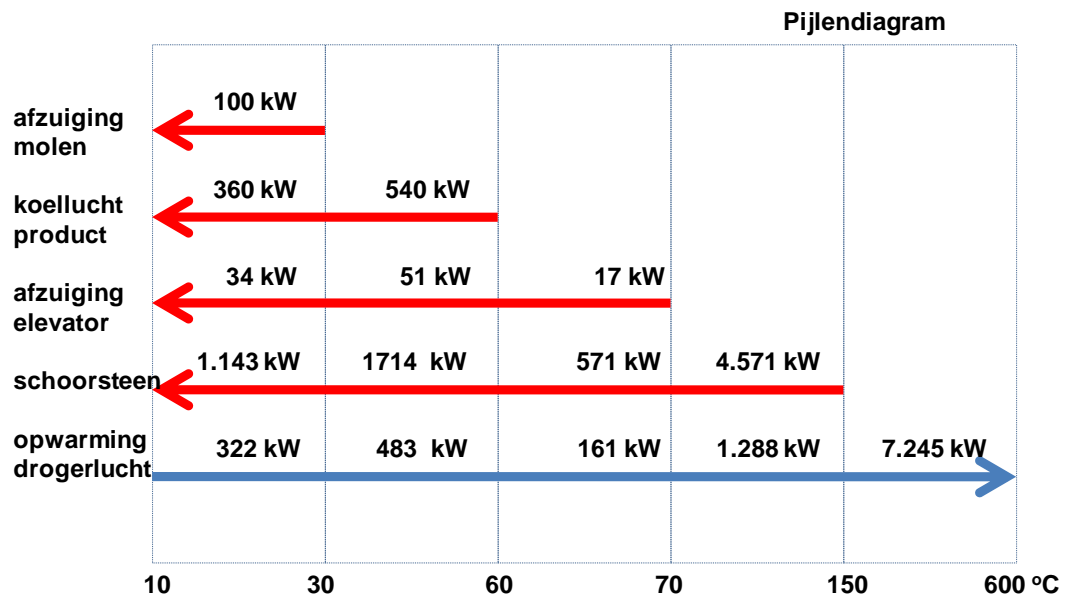


### II.6. Grassmann diagram

Het Grassmann diagram geeft de exergiewaarden van de massastromen binnen het systeem weer. Opvallend is het grote exergieverlies in de kanaalbrander. De hoge exergiewaarde van aardgas wordt deels vernietigd door er warmte van te maken. Hier wordt duidelijk dat de inzet van een gasturbine, waarbij eerst elektriciteit wordt gemaakt en de restwarmte vervolgens nuttig wordt gebruikt, uit exergie oogpunt beter is.

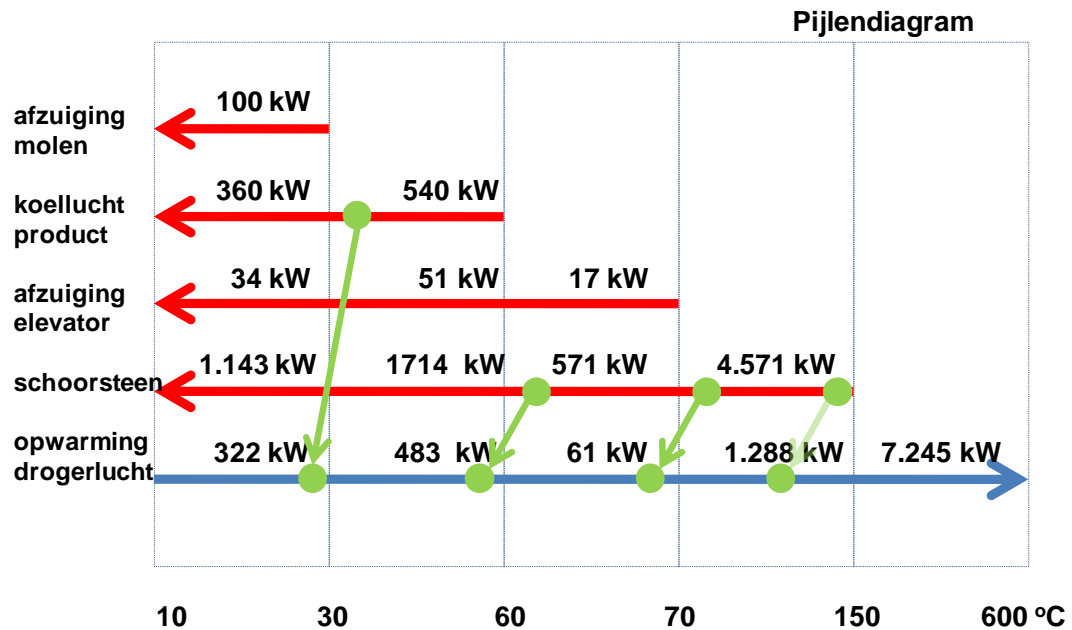
Ook de exergiedaling na de elektriciteitstoevoer is zichtbaar. Elektriciteit van het hoogste exergieniveau wordt omgezet in warmte.

Ook menging van gasstromen heeft een exergieverlies tot gevolg. De exergiewaarden van de recirculatie lucht en de branderlucht zijn opgeteld meer dan de waarde na menging. Dit komt omdat de carnotfactor meer dan evenredig daalt met de temperatuur.



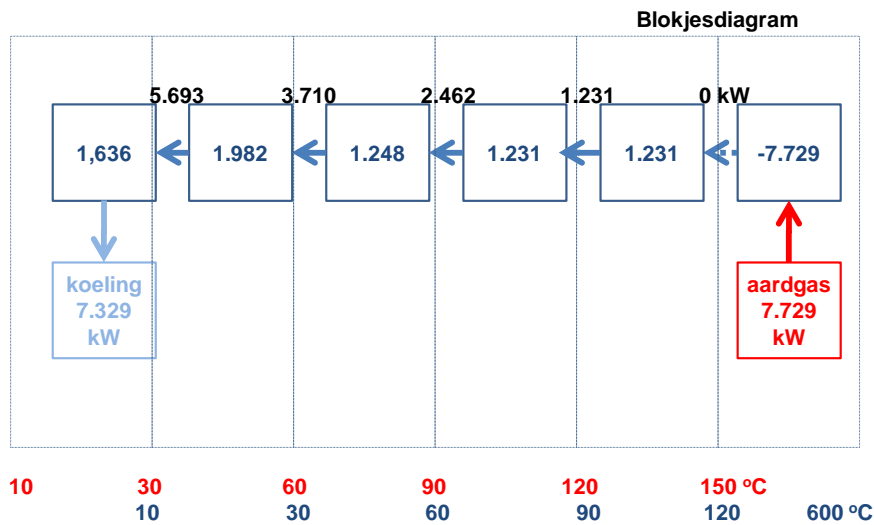
## II.7. Pijlendiagram

Om de mogelijkheden van warmteterugwinning te bepalen wordt wel het pijlendiagram gebruikt. Daarbij wordt voor ieder temperatuursegment dat relevant is het vermogen bepaald. De afkoeling van de lucht uit afzuiging van de molen vertegenwoordigt een vermogen van 100 kW in het segment van 30 naar 10 °C. De opwarming van de branderlucht vraagt in zijn totaliteit 9,2 MW. In hetzelfde segment van 10 naar 30 °C is dit 322 kW. In een ideale situatie zou met de warmte uit de afzuiging van de molen dus branderlucht kunnen worden voorverwarmd waarmee 100 kW aan warmte zou worden bespaard.



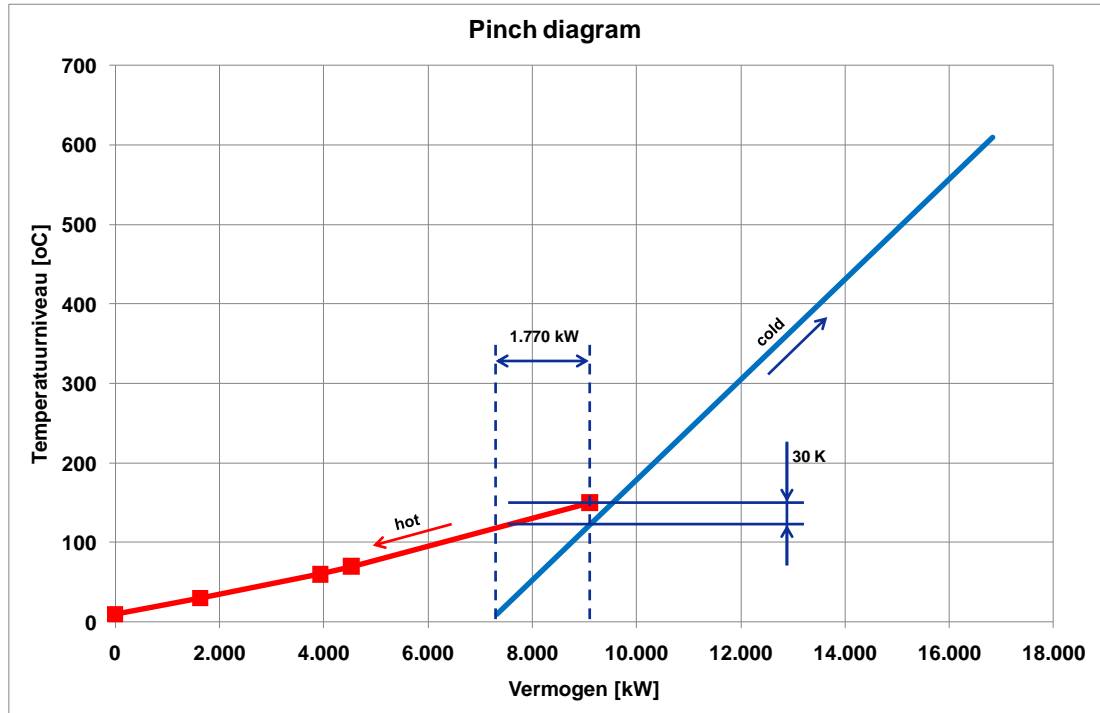
## II.8. Pijlendiagram met warmtewisselaars

Rekening houdend met een voldoende temperatuurverschil over de warmtewisselaars kan in het pijlendiagram aangegeven worden waar de mogelijkheden voor warmteterugwinning liggen. De schoorsteen biedt zoveel warmte aan dat in beginsel hiermee alle vraag gedekt kan worden. Omdat condensatie in warmtewisselaars, vooral in gasstromen met een stofbelasting, lastig kan zijn, gaat voor het laagste temperatuursegment de voorkeur uit naar de koellucht van het product als leverancier van restwarmte.



## II.9. Blokjesdiagram

In het blokjesdiagram wordt voor ieder temperatuursegment een balans opgesteld. Rekening houdend met een minimaal temperatuurverschil van bijvoorbeeld 30 K is er voor de opwarming boven de 120 °C geen restwarmte beschikbaar. Hier zal alles met externe warmte, zoals uit aardgas, moeten worden gedekt. Het segment dat hier onder zit heeft een overschot aan warmte van 1.231 kW. Deze kan ook in de segmenten met een lagere temperatuur worden ingezet en schuift daarom door. Uiteindelijk zal er netto 7.329 kW aan de omgeving moeten worden afgevoerd als overschot aan beschikbare restwarmte.



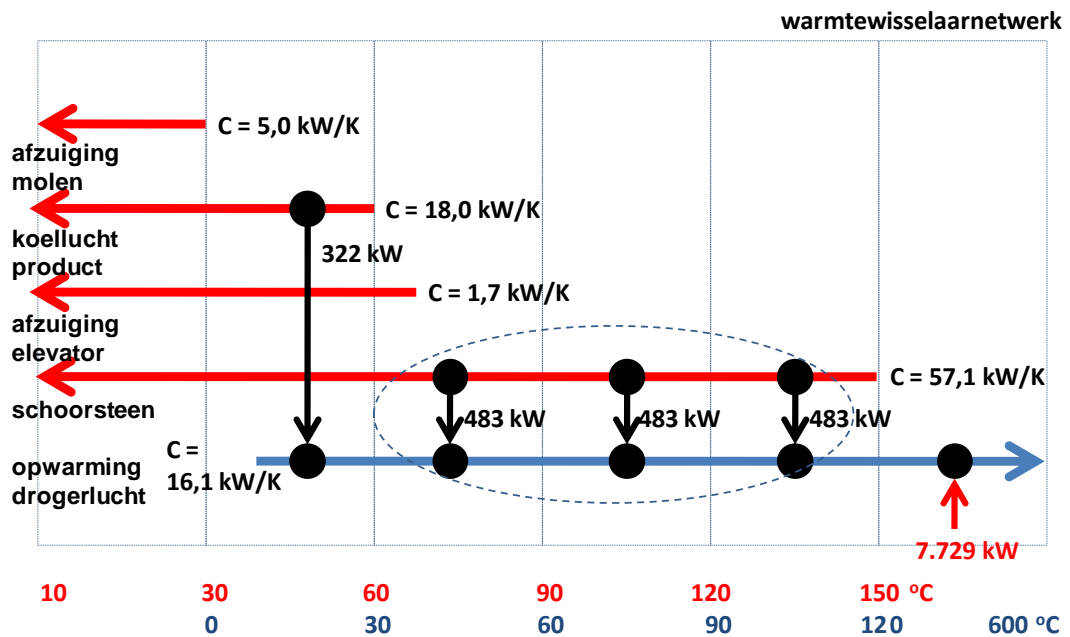
## II.10. Pinchdiagram

Het pinchdiagram bestaat uit een tweetal lijnen die respectievelijk de cumulatieve op te warmen stromen (de cold curve) en de af te koelen stromen en restwarmte (hot curve) weer geeft. Voor ieder temperatuursegment wordt daarvoor respectievelijk het benodigde vermogen en het beschikbare vermogen opgeteld. Omdat in de beschreven case de hot curve uit meerdere warmtestromen bestaat ontstaan er knikken bij de temperatuurgrenzen van de verschillende stromen.

De cold curve wordt zodanig horizontaal naar rechts verschoven dat deze minimaal bijvoorbeeld 30 K onder de hot curve komt te liggen. Het punt waarbij de curven elkaar het dichtst raken wordt de pinch genoemd. De overlap aan curven in het horizontale vlak stelt nu het potentieel aan restwarmtebenutting voor (1.770 kW).

Met het pinchdiagram zijn meerdere bewerkingen mogelijk waardoor ook mogelijkheden als warmtekracht en warmtepompen geëvalueerd kunnen worden. Ook zijn er ontwerpregels voor de inrichting van een warmtewisselaar netwerk. Het gaat te ver om hier dieper op in te gaan.

Als een bedrijf batchgewijs produceert is warmteterugwinning met ondersteuning van warmte opslag mogelijk. In dat geval is het benodigde temperatuurverschil tussen de curven groter. Op de horizontale as kan dan met energiehoeveelheid (kWh) worden gewerkt in plaats van met vermogens (kW).



## II.11. Warmtewisselaarnetwerk

Vanuit de pinch-systematiek kan ook een pijlendiagram worden samengesteld. Hierbij worden de temperatuurgrenzen van de hot streams ten opzichte van de cold streams verschoven zodat de warmtebenutting per segment mogelijk is (rekening houdend met het benodigde temperatuurverschil over de warmtewisselaar). Bij de pijlen wordt de warmtecapaciteit  $C$  van de betreffende warmtestroom in  $\text{kW/K}$  weergegeven.

Ook hier blijkt dat er voldoende warmte beschikbaar is om de verse luchtstroom van de droger naar  $120 \text{ °C}$  op te warmen. Daarbij kunnen de warmtewisselaars van de drie hoogste temperatuursegmenten worden samengevoegd. Ook hier wordt weer gekozen voor de benutting van de koellucht voor het laagste segment om condensatie in de warmtewisselaar te voorkomen.

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland  
Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht  
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht  
T +31 (0) 88 042 42 42  
F +31 (0) 88 602 90 23  
E klantcontact@rvo.nl  
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | Februari 2018

Publicatienummer: RVO-027-1801/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 en Klimaat.

Dit document is in opdracht van RVO.nl opgesteld.

Neem contact met ons op als u een toegankelijkheidsprobleem ervaart. Wij maken het dan graag alsnog voor u in orde!