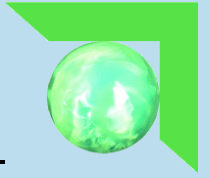


Input voor routekaart VNCI



| Doel | Input voor routekaart VNCI | | |
|----------------------|----------------------------|-----------------|--|
| <i>Partijen</i> | <i>Focal points</i> | <i>Telefoon</i> | <i>Email</i> |
| <i>Agentschap NL</i> | Walter van den Wittenboer | T 088-6022454 | Walter.vandenwittenboer@agentschapnl.nl |
| | | M 0627239661 | |
| <i>Dossiernummer</i> | P015612027 | | |
| <i>Traxxys</i> | Henk Akse | T 0348 – 410907 | henk.akse@traxxys.nl |
| | | M 0641237695 | |
| <i>VNCI</i> | Reinier Gerrits | | |
| <i>Berenschot</i> | Joost Krebbekx | T 030 – 2916916 | j.krebbekx@berenschot.nl |
| | Wouter de Wolf | T 030 – 2916916 | w.dewolf@berenschot.nl |
| <i>Datum</i> | 6 juni 2012 | | |
| <i>Project code</i> | 2012-013 | <i>Filenaam</i> | 2012 013 2 version 5.0 6-6-12.doc |
| <i>Traxxys</i> | | | |
| <i>Status</i> | Eindversie | | |
| <i>Revisie</i> | 5.0 | | |



1. Werkdefinitie PI

Beschouwing

In de kern is een chemisch proces maximaal geïntensiveerd, wanneer ieder molecuul op de gewenste wijze met een ander gewenst molecuul reageert waardoor alleen de moleculen van het gewenste product ontstaan. Dit is mogelijk wanneer de procesoperator volledige controle over de chemische synthese heeft op moleculaire schaal.

Belangrijke randvoorwaarden hierbij zijn dat het in de kortst mogelijke tijd geschiedt met zo min mogelijk gebruik van procesapparatuur, grondstoffen, hulpstoffen en energie.

Voor meer detail verwijst ik naar het Congres: **“Process Technology for the Future World: Building Bridges Across Own Boundaries”** dat plaatsvond op vrijdag 2 maart 2012 in Delft en naar de Delft Skyline Debates Research agenda van A. I. Stankiewicz en A. Gorak (wordt als pdf naar Berenschot gezonden).

Definitie

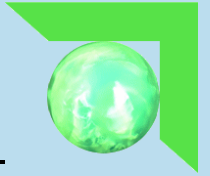
Procesintensivering is een methode om tot chemische productieprocessen te komen met:

- Een maximale yield van grondstof tot product
- Een zo laag mogelijk energiegebruik
- Zo compact mogelijke procesapparatuur
- Een zo gering mogelijk gebruik van hulpstoffen

Implicatie

Een juiste toepassing van procesintensivering leidt tot de *paradox* dat het eindontwerp tegelijkertijd voldoet aan elk van de volgende tegengestelde bedrijfskundige eisen:

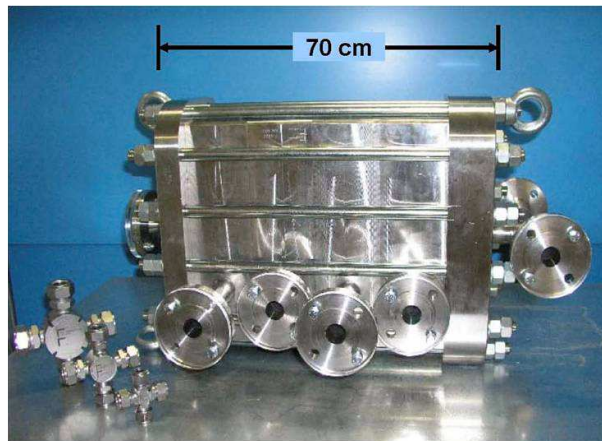
- Minimaal grond- en hulpstofgebruik
- Minimale capex
- Maximale output
- Maximale energie efficiency
- Minimale equipment count
- Minimale plotspace
- Minimale bijproductvorming



2. Beeld- en feitenmateriaal voor visualisatie van reeds uitgevoerde PI projecten

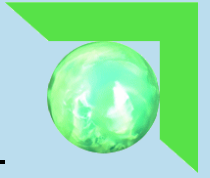
Noot: beeldmateriaal lever ik ook apart in jpg-format aan. Belangrijk is, dat (bij opname) de figuren a t/m f hieronder in de rapportage van Berenschot voorzien worden van de juiste gegevens in tabel 1 op pag. 6.

a. DSM microreactor 17000 ton/jaar



b. Eastman Kodak Methylacetaat plant 500.000 ton/jaar





c. VEBA Ól Krupp/Uhde benzeenverwijderingskolom 160.000 ton/jaar

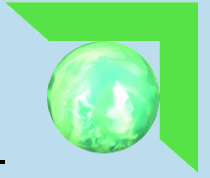


d. Nitech OBFC crystallizer

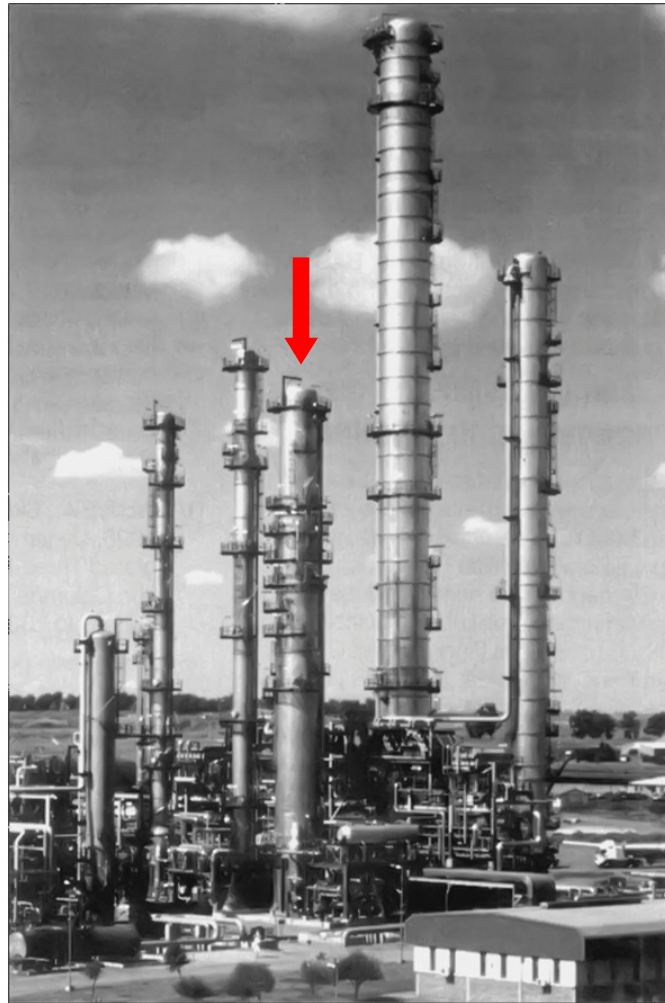


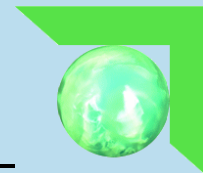
e. DOW Chemical USA Rotating Packed Bed columns





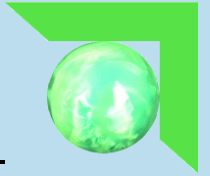
f. SASOL Zuid Afrika prefractionator column





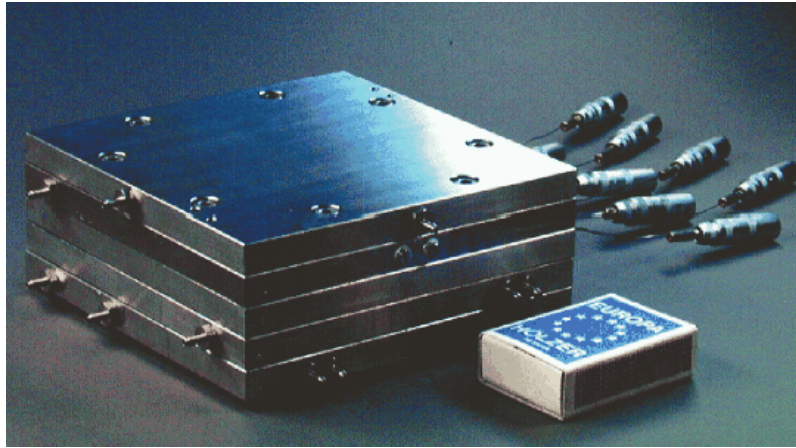
Tabel 1. Feitenmateriaal voor visualisatie van reeds uitgevoerde PI projecten

| # | Omschrijving | Capaciteit ton/jaar – procestijd | Yield | Plotspace | Energie efficiency | Bijproductvorming | Product spec | Opmerking |
|---|---|--|-------------------------|--|--|---|--|--|
| a | DSM microreactor | 17.500 | - | reactor past op een keukentafel | hoog | - | - | - |
| b | Eastman Kodak methyl acetaat plant | 500.000 | - | vervangt 10 unit operations en 16 reboilers/condensators | 80% minder verbruik dan conventioneel ontwerp | - | - | zijn er inmiddels 2 van gebouwd; totale capaciteit 1.000.000 ton/jaar investering is 50% van conventioneel ontwerp |
| c | VEBA Krupp/Uhde benzeenver Wijderings kolom | van 128.000 naar 160.000 | van 86,6% naar 89,1% | 50% reductie in plotspace | stoomverbruik omlaag van 0,244 t/t naar 0,21 t/t | - | benzeengehalte in benzine omlaag van 5,2 wt% naar 0,76 wt% | - |
| d | Nitech crystallizer | Nieuwe processing tijd 5% van oude processing tijd | - | Nieuwe plotspace is 5% van oude plotspace | hoger | Afvalproductie veel lager | Product-kwaliteit hoger - | vervangt een crystallizer van 2 verdiepingen hoog investering 50% lager |
| e | DOW Chemical Rotating packed Bed kolommen | - | omhoog van 80% naar 96% | 40 maal kleiner | - | 33% reductie in gechloreerde koolwaterstoffen | - | - |
| f | Sasol prefractor kolom | - | - | hoogte 64,5 meter diameter 4 - 4,5m | - | - | - | - |



3. Beeldmateriaal voor visualisatie van toekomstige PI projecten

a) Microreactors



b) Microwave dryers





c) Pulse combustion spray dryers



d) Rotor stator mixers / reactors / internals





e) Sono crystallizers

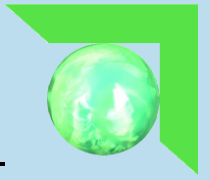


f) Static mixers



g) Static mixer / heat exchangers

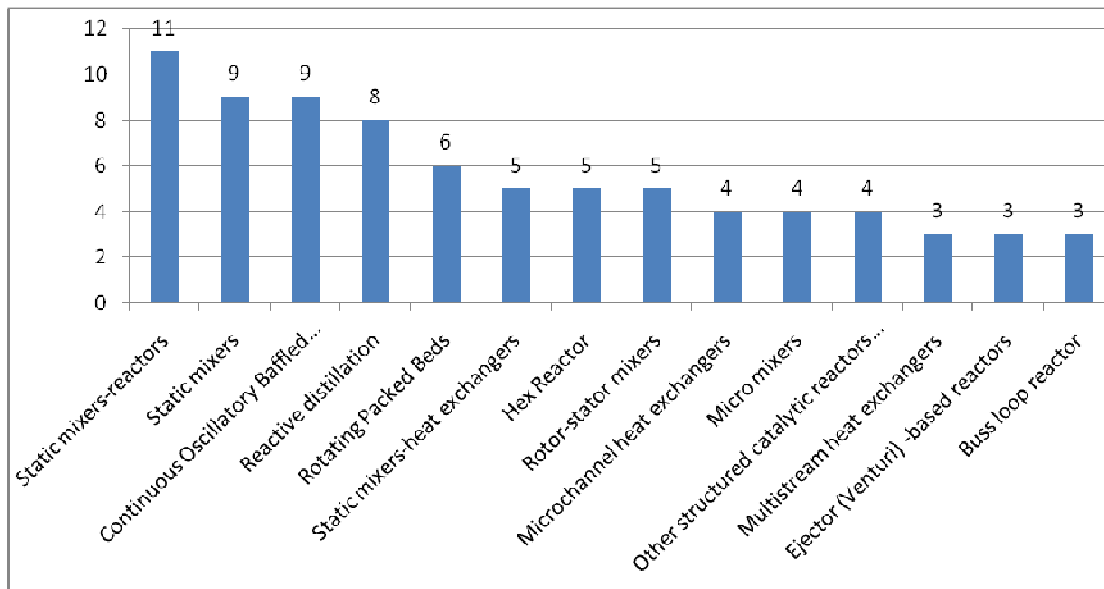


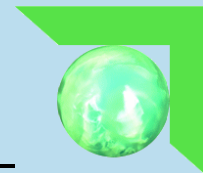


h) Supersonic gas injectors



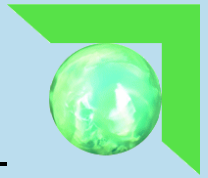
4. Grafiek 1. Aantal mogelijke toekomstige PI projecten per type commerciële PI technologie (79 in totaal) (zie voor ppt versie: 2012 013 2 version 3.0 4-6-12.ppt)



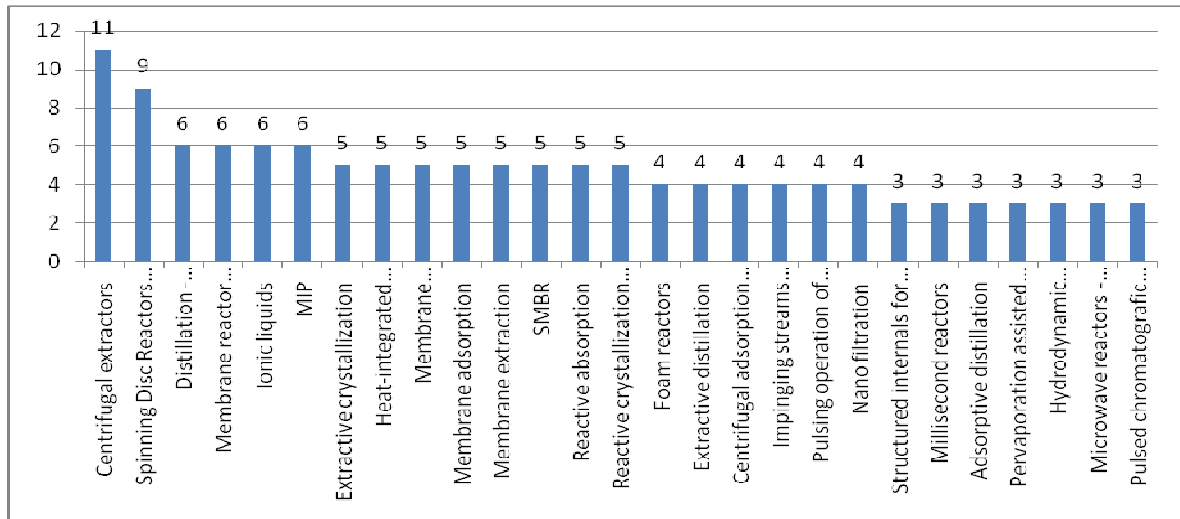


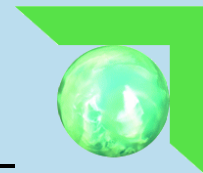
Tabel 2. Aantal mogelijke toekomstige PI projecten per type commerciële PI technologie (79 in totaal)

| # | Commerciële PI technologie | # mogelijke toekomstige projecten |
|----|---|-----------------------------------|
| 1 | Static mixers-reactors | 11 |
| 2 | Static mixers | 9 |
| 3 | Continuous Oscillatory Baffled Reactors | 9 |
| 4 | Reactive distillation | 8 |
| 5 | Rotating Packed Beds | 6 |
| 6 | Static mixers-heat exchangers | 5 |
| 7 | Hex Reactor | 5 |
| 8 | Rotor-stator mixers | 5 |
| 9 | Microchannel heat exchangers | 4 |
| 10 | Micro mixers | 4 |
| 11 | Other structured catalytic reactors (KATAPAK's, parallel pasage etc.) | 4 |
| 12 | Multistream heat exchangers | 3 |
| 13 | Ejector (Venturi) -based reactors | 3 |
| 14 | Buss loop reactor | 3 |
| | | |
| | | 79 |



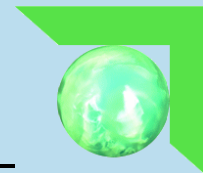
- Grafiek 2. Aantal mogelijke toekomstige PI projecten per type *in ontwikkeling zijnde* PI technologie (129 in totaal) (zie voor ppt versie: 2012 013 2 versie 3.0 4-6-12.ppt)





Tabel 3. Aantal mogelijke toekomstige PI projecten per type *niet-commerciële* PItechnologie (79 in totaal)

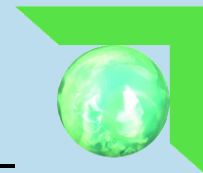
| # | Niet - commerciële PI technologie | # mogelijke toekomstige projecten |
|----|---|-----------------------------------|
| 1 | Centrifugal extractors | 11 |
| 2 | Spinning Disc Reactors (SDRs) | 9 |
| 3 | Distillation - pervaporation systems | 6 |
| 4 | Membrane reactor (selective) | 6 |
| 5 | Ionic liquids | 6 |
| 6 | MIP | 6 |
| 7 | Extractive crystallization | 5 |
| 8 | Heat-integrated distillation | 5 |
| 9 | Membrane absorption/stripping | 5 |
| 10 | Membrane adsorption | 5 |
| 11 | Membrane extraction | 5 |
| 12 | SMBR | 5 |
| 13 | Reactive absorption | 5 |
| 14 | Reactive crystallization / precipitation | 5 |
| 15 | Foam reactors | 4 |
| 16 | Extractive distillation | 4 |
| 17 | Centrifugal adsorption technology | 4 |
| 18 | Impinging streams reactor | 4 |
| 19 | Pulsing operation of multiphase reactors | 4 |
| 20 | Nano filtration | 4 |
| 21 | Structured internals for mass transfer operations | 3 |
| 22 | Millisecond reactors | 3 |
| 23 | Adsorptive distillation | 3 |
| 24 | Pervaporation assisted Reactive distillation | 3 |
| 25 | Hydrodynamic cavitation reactors | 3 |
| 26 | Microwave reactors - non cat | 3 |
| 27 | Pulsed chromatographic reactors | 3 |
| | | 129 |



6a. Tabel 4. Relevante technische bottlenecks bij gescande bedrijven

| # | Technische bottleneck | Score [% van relevant] |
|--|--------------------------------------|------------------------|
| Relevante bottlenecks bij gescande bedrijven | | |
| 1 | energy consumption high | 19,7 |
| 2 | process time high | 9,1 |
| 3 | capacity low | 8,3 |
| 4 | selectivity low | 8,3 |
| 5 | fouling high | 7,6 |
| 6 | yield low | 6,8 |
| 7 | recycle high | 6,1 |
| 8 | mass transfer low | 5,3 |
| 9 | emissions high | 4,5 |
| 10 | temperature control insufficient | 3,8 |
| 11 | heat transfer low | 3,0 |
| 12 | manufacturing cost high | 3,0 |
| 13 | residence time distribution too wide | 3,0 |
| 14 | entrainment high | 2,3 |
| 15 | process steps too many | 2,3 |
| 16 | corrosion high | 2,3 |
| 17 | operability low | 2,3 |
| 18 | phase separation insufficient | 2,3 |
| | | 100 |

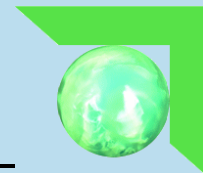
Noot: [% van relevant] is hier gedefinieerd als gemiddeld of meer dan gemiddeld vaak waargenomen



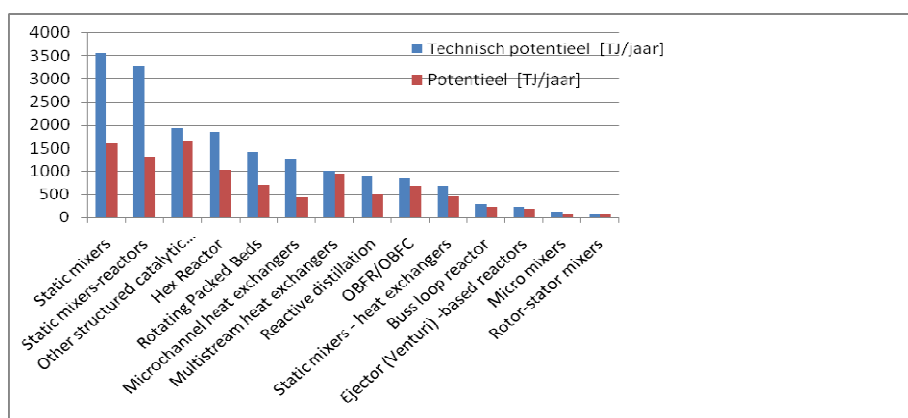
6b. Tabel 5. Niet-technische bottlenecks bij alle gescande bedrijven

| Niet technische bottleneck | Hieruit voortvloeiende randvoorwaarde | Score [%] |
|---|--|-----------|
| Menskracht voor eigen innovatie ontbreekt | Voldoende menskracht is aanwezig binnen het bedrijf | 25,5 |
| Financiële middelen voor eigen innovatie ontbreken | Financiële draagkracht van bedrijven is aanwezig | 22,8 |
| Besliscentrum bevindt zich het buitenland | Goede communicatie tussen nederlandse vestiging en buitenlands moederbedrijf | 13,8 |
| Managementstijl van het bedrijf hindert of blokkeert innovatie | Mindset van bedrijfsleiding stimuleert innovatie | 10,3 |
| Proceskennis is verdwenen na overname of door ouderdom van de plant | Proceskennis binnen het bedrijf is op peil | 9,7 |
| Benodigde proceskennis ligt binnen het bedrijf maar buiten de plant | Goede contacten tussen het bedrijf en de technology licensors | 7,6 |
| Bedrijfsovername, fusie of chapter 11 speelt op de achtergrond | Economische situatie van het bedrijf laat innovatie toe | 6,2 |
| Plantmanager geeft geen toestemming om informatie te delen met derden | Open houding van bedrijfsleiding t.a.v. kennisdeling | 4,1 |
| Totaal | | 100,0 |

Noot: [% van totaal] wil hier zeggen: alle gescande bedrijven zijn in deze tabel meegenomen.



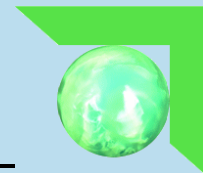
- Grafiek 3. Mogelijke energiebesparing per geadviseerde commerciële PI technologie (zie voor ppt versie: 2012 013 2 version 3.0 4-6-12.ppt)



Noot: Nauwkeurigheid schatting is +/- 40%

Tabel 6. Mogelijke energiebesparing per geadviseerde commerciële PI technologie (hoort bij grafiek 3 hierboven)

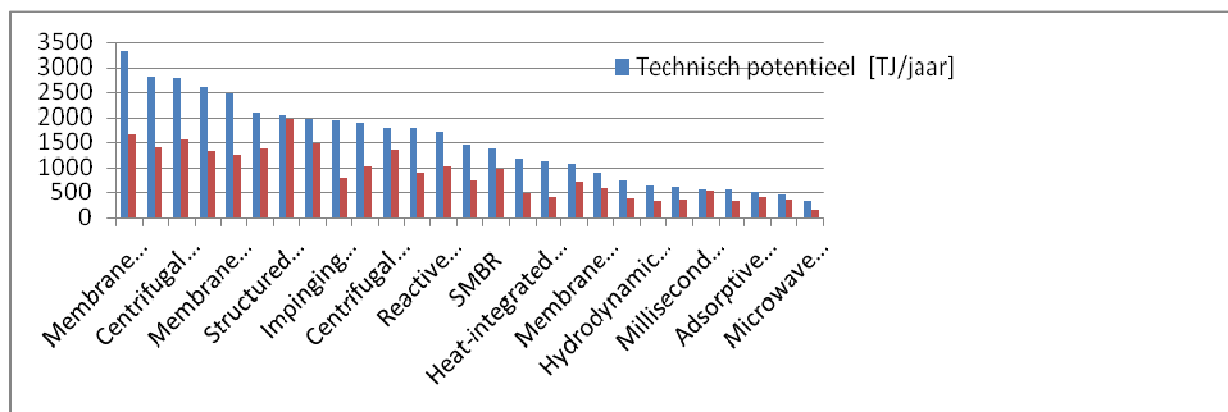
| Ranking | Technologie | Technisch potentieel [TJ/jaar] | Potentieel [TJ/jaar] |
|---------|---|--------------------------------|----------------------|
| 1 | Static mixers | 3552 | 1598 |
| 2 | Static mixers-reactors | 3276 | 1310 |
| 3 | Other structured catalytic reactors (KATAPAK's, parallel pasage etc.) | 1936 | 1646 |
| 4 | Hex Reactor | 1863 | 1025 |
| 5 | Rotating Packed Beds | 1413 | 706 |
| 6 | Microchannel heat exchangers | 1267 | 444 |
| 7 | Multistream heat exchangers | 991 | 941 |
| 8 | Reactive distillation | 908 | 500 |
| 9 | OBFR/OBFC | 858 | 686 |
| 10 | Static mixers - heat exchangers | 698 | 454 |
| 11 | Buss loop reactor | 275 | 234 |
| 12 | Ejector (Venturi) -based reactors | 234 | 175 |
| 13 | Micro mixers | 130 | 91 |



| | | | |
|----|---------------------|-------|------|
| 14 | Rotor-stator mixers | 82 | 82 |
| | | | |
| | Totaal | 17483 | 9892 |

Noot: Nauwkeurigheid schatting is +/- 40%

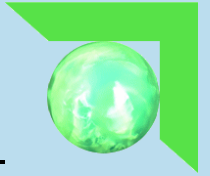
- Grafiek 4. Mogelijke energiebesparing per geadviseerde in ontwikkeling zijnde PI technologie (zie voor ppt versie: 2012 013 2 versie 3.0 4-6-12.ppt)



Noot: Nauwkeurigheid schatting is +/- 40%

Tabel 7. Mogelijke energiebesparing per geadviseerde in ontwikkeling zijnde PI technologie (hoort bij Grafiek 4 hierboven)

| Ranking | Technologie | Technisch potentieel [TJ/jaar] | Potentieel [TJ/jaar] |
|---------|---|--------------------------------|----------------------|
| 1 | Membrane absorption/stripping | 3313 | 1656 |
| 2 | Pervaporation assisted Reactive distillation | 2810 | 1405 |
| 3 | Centrifugal extractors | 2801 | 1541 |
| 4 | Extractive distillation | 2606 | 1303 |
| 5 | Membrane adsorption | 2462 | 1231 |
| 6 | Extractive crystallization | 2113 | 1373 |
| 7 | Structured internals for mass transfer operations | 2065 | 1961 |
| 8 | Membrane extraction | 1974 | 1480 |
| 9 | Impinging streams reactor | 1941 | 776 |
| 10 | Distillation - pervaporation systems | 1884 | 1036 |
| 11 | Centrifugal adsorption technology | 1784 | 1338 |
| 12 | Foam reactors | 1777 | 888 |



| | | | |
|----|--|-------|-------|
| 13 | Reactive crystallization / precipitation | 1714 | 1028 |
| 14 | MIP | 1459 | 729 |
| 15 | SMBR | 1380 | 966 |
| 16 | Spinning Disc Reactors (SDRs) | 1174 | 470 |
| 17 | Heat-integrated distillation | 1143 | 400 |
| 18 | Reactive absorption | 1078 | 701 |
| 19 | Membrane reactor (selective) | 900 | 585 |
| 20 | Pulsed chromatographic reactors | 728 | 364 |
| 21 | Hydrodynamic cavitation reactors | 628 | 314 |
| 22 | Pulsing operation of multiphase reactors | 603 | 332 |
| 23 | Millisecond reactors | 560 | 532 |
| 24 | Ionic liquids | 542 | 325 |
| 25 | Adsorptive distillation | 503 | 402 |
| 26 | Nano filtration | 452 | 339 |
| 27 | Microwave reactors - non cat | 320 | 160 |
| | | | |
| | Totaal | 40713 | 23638 |

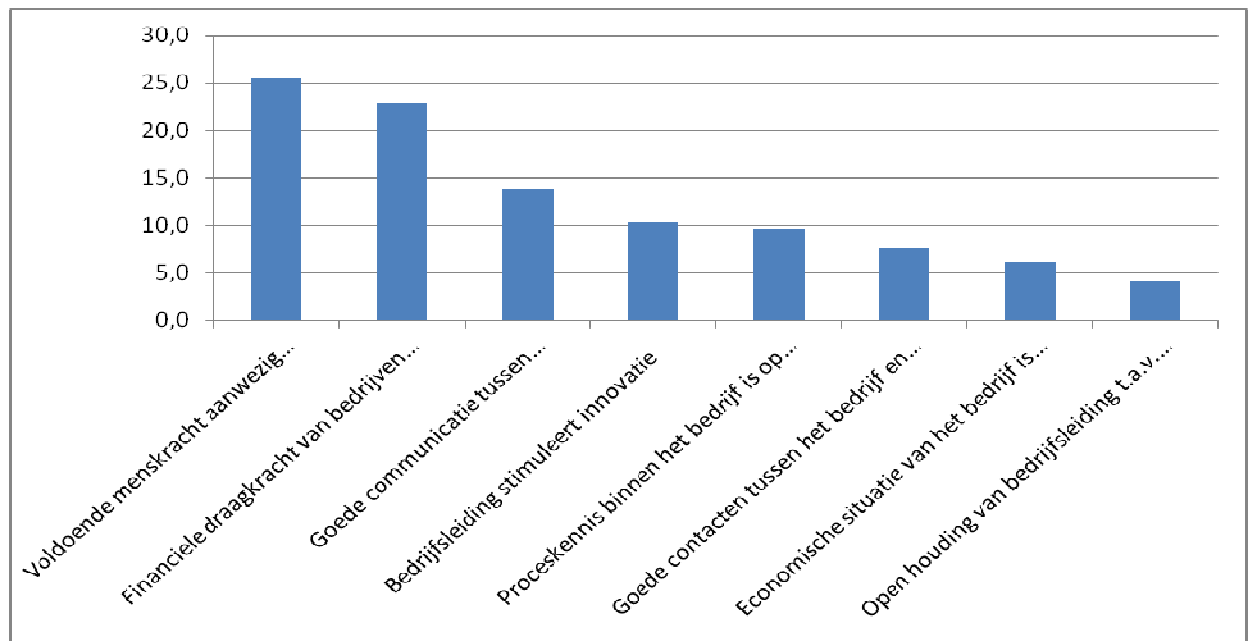
Noot: Nauwkeurigheid schatting is +/- 40%

- Tabel 8. Waargenomen randvoorwaarden bij de meer dan gemiddeld vaak geadviseerde PI technologieën

| Randvoorwaarde | Score [%] |
|--|-----------|
| Voldoende menskracht aanwezig binnen het bedrijf | 25,5 |
| Financiële draagkracht van bedrijven aanwezig | 22,8 |
| Goede communicatie tussen nederlandse vestiging en buitenlands moederbedrijf | 13,8 |
| Mindset van bedrijfsleiding stimuleert innovatie | 10,3 |
| Proceskennis binnen het bedrijf is op peil | 9,7 |
| Goede contacten tussen het bedrijf en de technology licensors | 7,6 |
| Economische situatie van het bedrijf laat innovatie toe | 6,2 |
| Open houding van bedrijfsleiding t.a.v. kennisdeling | 4,1 |
| | 100,0 |



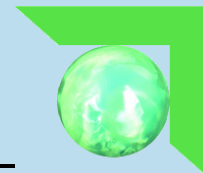
- Grafiek 5. Relatieve scores van typen randvoorwaarden geldend voor de top 41 geadviseerde PI technologieën



Noot: scores in % van totaal; een hogere score impliceert dat de randvoorwaarde een grotere uitdaging vormt om te realiseren

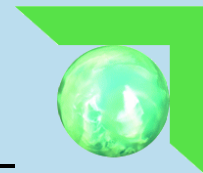
- Tabel 9. Klappers en iconen

Zie ppt : Iconen version 1.0 4-6-12.ppt



Tabel 10. Tussenlaag tussen PI algemeen en concrete technologieën

| A = Front end B = Back end | PI technologie (zwart is commercieel; rood is in development) | # mogelijke toekomstige projecten |
|-------------------------------|--|---|
| A | Static mixers-reactors | 11 |
| A | Static mixers | 9 |
| A | Continuous Oscillatory Baffled Reactors | 9 |
| A | Spinning Disc Reactors (SDRs) | 9 |
| A | Rotating Packed Beds | 6 |
| A | Membrane reactor (selective) | 6 |
| A | Static mixers-heat exchangers | 5 |
| A | Hex Reactor | 5 |
| A | Rotor-stator mixers | 5 |
| A | SMBR | 5 |
| A | Reactive absorption | 5 |
| A | Reactive crystallization / precipitation | 5 |
| A | Micro mixers | 4 |
| A | Other structured catalytic reactors (KATAPAK's, parallel pasage etc.) | 4 |
| A | Foam reactors | 4 |
| A | Impinging streams reactor | 4 |
| A | Pulsing operation of multiphase reactors | 4 |
| A | Ejector (Venturi) -based reactors | 3 |
| A | Bus loop reactor | 3 |
| A | Structured internals for mass transfer operations | 3 |
| A | Millisecond reactors | 3 |
| A | Pervaporation assisted Reactive distillation | 3 |
| A | Hydrodynamic cavitation reactors | 3 |
| A | Microwave reactors - non cat | 3 |
| A | Pulsed chromatografic reactors | 3 |



| A = Front end B = Back end | PI technologie (zwart is commercieel; rood is in development) | # mogelijke toekomstige projecten |
|-------------------------------|---|---|
| B | Centrifugal extractors | 11 |
| B | Reactive distillation | 8 |
| B | Distillation - pervaporation systems | 6 |
| B | Ionic liquids | 6 |
| B | MIP | 6 |
| B | Extractive crystallization | 5 |
| B | Heat-integrated distillation | 5 |
| B | Membrane absorption/stripping | 5 |
| B | Membrane adsorption | 5 |
| B | Membrane extraction | 5 |
| B | Microchannel heat exchangers | 4 |
| B | Extractive distillation | 4 |
| B | Centrifugal adsorption technology | 4 |
| B | Nano filtration | 4 |
| B | Multistream heat exchangers | 3 |
| B | Adsorptive distillation | 3 |

Woerden, 6 juni 2012