

Toegevoegde technieken onmisbaar

Voor end-of-pipe-technologie is het eind nog niet in zicht

J. Venselaar

Er wordt wel verondersteld dat voor milieutechnologie die 'end-of-pipe' wordt toegepast het eind is gekomen. Het is echter een zeer hoogwaardige technologie, juist ontwikkeld om onder zeer moeilijke condities aan zeer zware eisen te voldoen. Toekomstige technologische ontwikkelingen zullen niet zonder kunnen.

De belangrijkste milieuproblemen ontstaan door het vrijkomen van schadelijke stoffen. Een klassieke manier om deze milieuproblemen aan te pakken is het zo goed als mogelijk wegnemen van die stoffen. De technieken die daarvoor worden gebruikt vat men meestal samen onder de term milieutechnologie.

Vaak zullen deze stoffen via afvalwater of te spuien gasstromen vrijkomen. Logischerwijs zijn daardoor ook de termen 'end-of-pipe', 'toegevoegde techniek' en 'schoonmaaktechnologie' in zwang gekomen. Zo'n benaming geeft aan dat het probleem al ontstaan is en nu 'achteraf' moet worden opgelost. De termen zijn algemeen in gebruik gekomen toen in het denken over de aanpak van milieuproblemen 'schone technologie', 'aanpak aan de bron' en 'procesgeïntegreerde aanpak' als begrippen opkwamen. Hiermee ontstond impliciet het beeld dat het je verlaten op schoonmaaktechnologie/end-of-pipe achterhaald is; preventie is beter (1). Als algemeen principe valt daarop weinig af te dingen. Blijft staan dat de klassieke milieutechnologie bij de aanpak van de milieuproblemen tot nog toe een grote rol heeft gespeeld. Ontwikkeling van geheel nieuwe 'schone' processen en produktiewijzen zal daarnaast nog de komende decennia vergen. Schoonmaaktechnologie zal alleen al daarom een rol moeten blijven spelen.

Meer principieel kan worden gesteld dat 'Zero waste technology' niet bestaat. De thermodynamica staat het niet toe. Er blijft een rest, naar water of lucht of als afval die we zelden onbehandeld kwijt zullen kunnen.

In dit kader zal de vorm die milieutechnologie heeft gekregen, worden toegelicht, technisch maar ook de wijze van toepassen. De betekenis die zij in de toekomst nog zal hebben, kan daaruit worden afgeleid. Dat gebeurt deels aan de hand van de specifieke technieken gericht op reiniging van lucht-/gas- en waterstromen. Hoewel milieutechnologie zeer veel breder is, gericht op de aanpak van alle mogelijke milieueffecten in alle 'milieucompartimenten', vormt dat de meest bekende en de meest illustratieve groep van milieutechnologieën.

1. De technieken

Milieutechnologie is gebaseerd op dezelfde fysische, chemische, biologische en mechanische principes als elders in bedrijven en specifiek de procestechnologie worden toegepast. Soms worden combinaties van principes toegepast die uniek zijn. Het toepassen van biologische principes is nu met name in opkomst.

Er zijn wel belangrijke verschillen in de condities waaronder wordt gewerkt: lage concentraties, extreem lage eindconcentraties, combinaties van stoffen

die meestal zo anders zijn dat ze eigenlijk een geheel verschillende aanpak vragen, zeer variabele stromen, in samenstelling, debiet, temperatuur. De standaard unit operations zijn hier volledig ontoereikend.

Het aantal commercieel verkrijgbare en nog in ontwikkeling zijnde technieken en uitvoeringsvormen ervan is groot. Het aantal basisprincipes en basistechnologieën is weliswaar beperkt. De zeer grote diversiteit in soorten bronnen en aard van emissies en afvalstromen leidt daartoe. Vaak zijn allerlei combinaties van basisprincipes nodig.

1.1 Basisprincipes – De meest voorkomende activiteit bij milieutechnologie is scheiden. Daarnaast wordt toegepast afbraak van de componenten: door micro-organismen, door verbranding of een andere chemische omzetting. En ook wordt wel toegepast immobilisatie, het zo vastleggen van de componenten dat ze geen gevaar meer opleveren: door ze chemisch te binden (bij voorbeeld door verglazen of in soorten cement) of gewoon in een speciale stort. Vroeger werd verdunnen ook wel als acceptabele milieutechniek gezien. Tegenwoordig is dat alleen bij zeer hoge uitzondering een reële oplossing.

Oorspronkelijk op basis van trial and error of intuïtie, maar in toenemende mate gebaseerd op wetenschappelijk inzicht, zijn de basisprincipes ontwikkeld waarmee specifieke componenten konden worden afgescheiden of onschadelijk gemaakt. Er ontstonden technologieën gebaseerd op een specifiek basisprincipe. Het zal duidelijk zijn dat de eigenschappen van de stoffen, maar ook van de bron, daarbij een cruciale rol spelen.

Speciaal bij milieutechnieken die scheiden tot doel hebben, wordt de reiniging moeilijker naarmate stoffen chemisch of fysisch meer op elkaar lijken. In combinatie met de bovengenoemde karakteristieken voor de condities waaronder milieutechnieken moeten werken, geeft dat aan dat simpel toepassen van één basisprincipe zelden voldoende is. Veelal zullen combinaties van verschillende basisprincipes worden benut in een specifieke techniek. Een combinatie van basisprincipes

Dr. ir. J. Venselaar is hoofd van de afdeling Milieu en veiligheid van Akzo Engineering BV.

leidt ertoe dat de verschillen tussen de te scheiden componenten groter zijn en de technieken dus effectiever en selectiever kunnen zijn.

De toegepaste basisprincipes en de effectief gebleken combinaties verschillen nogal voor de diverse typen componenten en milieuproblemen. Ze

verschillen voor emissies naar lucht en water, verontreinigde bodem en afvalstoffen. Maar ook binnen elk 'compartiment' zijn verschillende groepen te onderscheiden.

Tabellen 1 en 2 geven een overzicht van de toegepaste basisprincipes en de stoffeigenschappen waarop ze zijn ge-

baseerd voor lucht- en waterzuivering.

Voorbeeld stofafscheiding (2). Aan de diverse technieken voor stofafscheiding uit gas/luchtstromen is goed te laten zien hoe afscheidingstechnieken combinaties van basisprincipes (moeten) gebruiken.

Tabel 1: Basisprincipes voor bestrijding van emissies naar lucht

Aard van de component	Gebruikte karakteristiek	Basisprincipes
stof (vast en vloeibaar) aerosol	grootte dichtheid massa relatief oppervlak oplaadbaarheid eigenschappen oppervlak	zeefwerking diffusie/Brownse beweging sedimentatie traagheid elektrostatistische werking hechting
koolwaterstoffen	molecuulgrootte reactiviteit oplosbaarheid dampspanning (T-afhankelijk) affiniteit	diffusie chemische reactie (thermisch, biologisch of specifieke reactant) adsorptie absorptie/oplossen condensatie zeefwerking/membranen
overig gasvormig	molecuulgrootte reactiviteit oplosbaarheid affiniteit	diffusie chemische reactie adsorptie absorptie/oplossen precipitatie zeefwerking/membranen

Tabel 2: Basisprincipes voor bestrijding van emissies naar water

Aard van de component	Gebruikte karakteristiek	Basisprincipes
niet opgelost materiaal	dichtheid deeltjesgrootte oppervlakte eigenschappen oplosbaarheid (in andere media)	agglomeratie bezinken drijven hechting aan oppervlakken zeefwerking
opgeloste organische stof	reactiviteit molecuulgrootte oplosbaarheid chemische affiniteit verdampingswarmte diffusiesnelheid	oxidatie (biologisch, chemisch, thermisch) absorptie/extractie adsorptie membranen verdampen/strippen
metaalionen	oplosbaarheid met specifieke anionen en pH diffusiesnelheid lading ionstraal chemische affiniteit	precipitatie/kristallisatie absorptie/extractie adsorptie ionenwisseling membranen spanningspotentiaal
anionen (nitraat, fosfaat, sulfaat, chloride, etc.)	oplosbaarheid met specifieke kationen diffusiesnelheid lading iongrootte reactiviteit	precipitatie/kristallisatie omzetting (chemisch, biologisch) absorptie ionenwisseling membranen spanningspotentiaal

Tabel 3: Stofafscheidingstechnieken en hun gebruik van basisprincipes

Basisprincipe	Mechanisch	Doekfilter	Elektrofilter	Natte-stofafscheider	Diepbedfilter	Oppervlaktefilter
zeefwerking		x			(x)	x
sedimentatie	x					
traagheid	x	x		x	x	(x)
diffusie		x	x	x	x	(x)
elektrostatische oplading			x			

De standaardtechnieken voor stofafscheiding gebaseerd op de in tabel 1 genoemde basisprincipes zijn: mechanische afscheiders, doekfilters, natte stofvangers, elektrostatische filters, diepbedfilters en oppervlaktefilters. Tabel 3 geeft weer hoe die standaardtechnieken voor stofafscheiding gebruik maken van de diverse combinaties van basisprincipes.

Op grond van hun eigenschappen worden de deeltjes in verschillende mate beïnvloed. De beweging van de deeltjes en dus de stromingen van en turbulenties in het gas spelen daarbij een belangrijke rol. Traagheid en zwaartekracht hebben relatief meer invloed op zwaardere deeltjes; meesleuring, Brownse beweging/diffusie en elektrostatische aantrekking beïnvloeden de kleine deeltjes het meest.

De verschillende krachten en effecten kunnen elkaar ook tegenwerken: een afgevangen deeltje komt door de Brownse beweging weer in de gasstroom, een afscheidende kracht wordt door meesleuring met het gas weer teniet gedaan, etc. De diverse effecten spelen daarnaast een belangrijke rol bij het vasthouden en ook afvoeren van het afgescheiden materiaal. Hechting aan een oppervlak ontstaat door bevochtigingseffecten, elektrostatische oplading, etc. En onderlinge hechting en/of condensatie rond een deeltje leidt tot grotere, dus makkelijker af te scheiden deeltjes.

Om te kunnen voldoen aan strengere eisen en te kunnen werken onder moeilijkere condities, ontstaan combinaties van technieken: natte traagheidsafschers, elektrostatische wassers, natte of condensatie elektrofilters, elektrostatisch geladen filterdoekmateriaal. Het betekent een nog veel verdergaande combinatie van afscheidingsprincipes.

1.2 Technologie-evolutie – De ontwikkeling van milieutechnologie is al vroeg begonnen. Omdat elke grootschalige activiteit wel wat we nu milieuproble-

men noemen geeft, waren er al gauw maatregelen nodig. Die waren niet altijd technisch, soms was het een verbod of een organisatorische maatregel zoals vaste dagen waarop de wolveners hun verboden mochten lozen, zodat de brouwers op andere dagen schoon water hadden.

Tot zeker een eeuw geleden waren de technieken gericht op het tegengaan van direct waargenomen hinder en direct zichtbare problemen. Gelijkopgaand met het toenemende inzicht in minder direct zichtbare effecten en de samenhang van milieuproblemen, ontwikkelden zich een steeds breder scala van technieken. Die ontwikkeling hield, en houdt gelijke tred met de milieuwet- en regelgeving, die ook reageert op het betere inzicht. In belangrijke mate is er sprake van een wisselwerking. De scherpere eisen stimuleren een ontwikkeling van betere techniek. En een betere techniek geeft de mogelijkheid strengere eisen te stellen. Beter impliceert: betere werking dus hoger afscheidingsrendement c.q. lagere restconcentratie, goedkoper, ruimer toepasbaar en zeker ook lager energie- en hulpstoffenverbruik. Dat is inderdaad de trend die je in de ontwikkeling van milieutechnologie ziet. Ook daarin verschilt zij niet van andere technologie.

De 'evolutie' van een proces is aardig vergelijkbaar met een biologische evolutie. Er is continue druk voor aanpassing door de veranderende omstandigheden, er zijn beperkingen waardoor de ontwikkeling een bepaalde kant op leidt, elk proces ontstaat meestal uit een ouder en elk zoekt zijn niche in de markt. Die welke commercieel niet aanslaan verdwijnen op den duur. De continue druk voor aanpassing wordt veroorzaakt door:

- de eis voor een betrouwbare techniek en bedrijfszekere werking met zo min mogelijk storingen die leiden tot onderhoud en/of klachten of niet voldoen aan de eisen;
- compacte en simpel te bedienen

apparatuur. Dat is nodig voor de ruime toepasbaarheid. Er is niet altijd gespecialiseerd personeel aanwezig, zeker niet in kleinere bedrijven;

- lage kosten. Die hangen vaak ook van de lokale omstandigheden af en zijn meestal te vertalen in laag energiegebruik, laag hulpstoffengebruik, lage investerings- en/of plaatsingskosten, geringe personeelsinzet.

Lokale omstandigheden, door het specifieke proces, de geografie, extra technische mogelijkheden of specifieke eisen, kunnen ook van wezenlijke invloed zijn.

Een niet te verwaarlozen aspect in de ontwikkeling is het commerciële. Vaak treden voor eenzelfde probleem parallel ontwikkelingen op, vanwege specifieke eigen kennis, ervaring en vooroordelen van de uitvinders en constructeurs, het willen voortbouwen op eigen octrooi en de wens of noodzaak octrooi van anderen te omzeilen. Het is ook een oorzaak van de enorme divergentie in uitvoering die in veel technieken is opgetreden.

Mode, aansluiten bij heersende trends in technologie-ontwikkeling en soms onkunde hebben soms ook wel tot 'nieuwe technologie' geleid.

1.3 Verdergaande ontwikkeling – Die trend tot verandering en vernieuwing zet zich continu door. Dezelfde factoren als hiervoor genoemd gelden nog steeds. Daarnaast worden de volgende factoren ook steeds belangrijker:

- betere afscheiding, hoger rendement, lagere restemissie;
 - aandacht voor bijkomende milieuaspecten. Dat wil zeggen minder energie en hulpstofverbruik, geen of kleine secundaire afvalstromen.
- De trends op dit technologiegebied worden hier kort toegelicht.

Biologische methoden zijn in opkomst. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de

enorme diversiteit die er in micro-organismen bestaat. Er bestaan organismen die specifieke omzettingen kunnen doen plaatsvinden onder bijna elke conditie: afbraak van hooggechloreerde verbindingen, omzetting van sulfaat via sulfide tot zwavel, afbraak van nitraat, afscheiding van metaalionen, etc.

Het voordeel is dat gewerkt kan worden onder milde condities, wat energetisch gunstig is, en de omzettingen vaak heel specifiek zijn. Nadeel is, onder andere, de gevoeligheid van dergelijke processen voor storingen en vergiftiging.

Terugwinning is daarnaast een belangrijk aandachtspunt. Reinigingstechnieken worden zo ingericht dat afgescheiden componenten direct herbruikbaar zijn. Daarnaast is een hele lijn van technologieën in ontwikkeling die erop gericht is uit afvalstromen bruikbare componenten te winnen, niet alleen door louter scheiding maar gebaseerd op chemische omzetting, 'monomerisatie', hydrogenolyse etc. (3).

Geavanceerde automatische processturing wordt ook steeds uitgebreider in diverse milieutechnieken toegepast. Continue procesoptimalisatie is dan mogelijk. Met name als de te reinigen stroom zeer variabel is, levert dat veel voordeel. Energie- en hulpstoffenverbruik kunnen verminderen en storingen, waardoor te grote restemissies optreden, kunnen worden voorkomen of worden tijdig gedetecteerd. Een voorbeeld is de regeling voor elektrostatische stofafscidders waarbij continu tot vlak bij de doorslagspanning gewerkt kan worden. Vroeger moest men daar met een zeer brede marge vandaan blijven.

Katalyse maakt hogere omzettingen bij mildere condities mogelijk. Toepassing ervan richt zich met name op omzettingsprocessen die bij hoge druk en/of temperatuur lopen en voor afbraak van componenten die anders nauwelijks zouden reageren. Katalytische na-verbinding van organische verontreiniging in lucht is een voorbeeld (300 tot 350° C tegenover 800° C en hoger voor het ongekatalyseerde proces). Maar ook bij zuivering van afvalwater met 'wet air oxidation' (bij hoge druk en temperatuur) wordt het toepassen van een katalysator onderzocht. Ook bij diverse afvalverwerkingsprocessen zijn er ontwikkelingen in deze richting.

Zuivere zuurstof, ozon of waterstof-

peroxide wordt toegepast om de effectiviteit van diverse oxidatieprocessen te vergroten. Bijkomend voordeel van zuivere zuurstof in verbrandingsprocessen is dat er minder rookgas ontstaat en nauwelijks NOx.

Er kan een kanttekening bij deze ontwikkelingen worden geplaatst. Naarmate scheiding beter moet, kost het steeds meer moeite, energie en hulpmiddelen. De stap van 90 naar 95% afscheiding kost bijna net zoveel als van 95 naar 98%. Het is een halvering van de restemissie. Voor een betere afscheiding worden meer basisprincipes gecombineerd en men streeft naar intensiever contact tussen afscheidend medium en af te scheiden componenten. Ook toepassen van reactievere componenten als ozon, toepassen van UV of elektronenbestraling etc., vraagt meer energie. Om de toenemend strenge eisen te halen, is vaak een vergroting van de verblijf- en contacttijd nodig, een veel grotere drukval en/of een grotere overmaat aan hulpstoffen. En de laatste stapjes worden steeds moeilijker.

In de praktijk ziet men een betere afscheiding gepaard gaan met een hoger energieverbruik. Omdat energieverbruik als zodanig ook een milieu-aspect is (vanwege verbruik van grondstoffen, emissies bij opwekking etc.) moet een nog scherpere eis met de daarvoor nodige condities afgewogen worden tegen dat hogere energieverbruik en de milieu-effecten daarvan.

2. Plaats in het proces

De plaats van milieutechnologie is vaak zowel fysiek als organisatorisch op afstand van de activiteit, het proces en de installatie waar de vervuiling ontstond. Dat had praktische redenen. Het verwerken van afval en reinigen van vervuilde water en lucht/gasstromen vraagt om andere techniek dan waar men in het proces mee werkt: biologische waterzuivering, verbranding, etc. Het lijkt verstandiger daar een aparte bedrijfseenheid van te maken. Voor afval en 'normaal' afvalwater vindt de verwerking vaak ergens buiten de lokatie plaats: regionale waterzuivering, centrale afvalverbranding, stort, etc. Om dat efficiënt te doen worden afvalstromen eerst verzameld om dan gezamenlijk behandeld te worden. Zo worden afgassen in centrale spuiteidingen opgevangen en naar een centrale verwerkingsinstallatie bij de centrale,

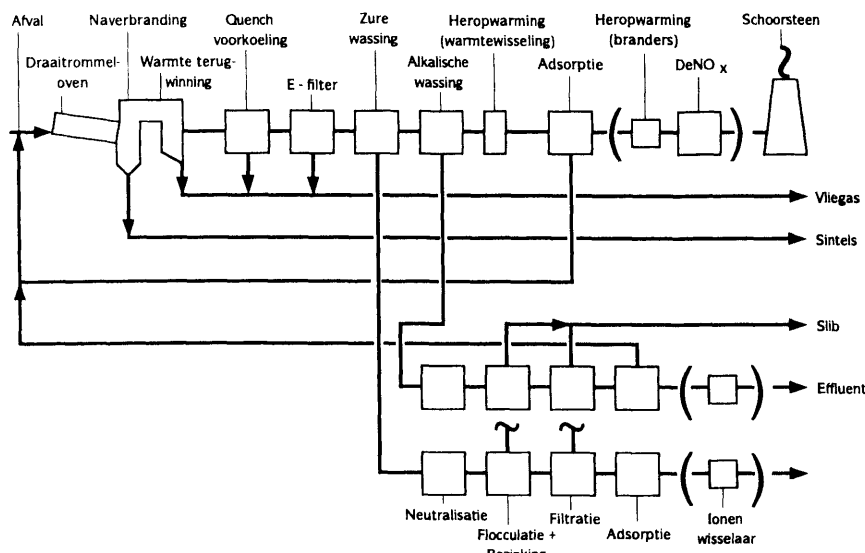
hoge, schoorsteen geleid. Dat leek economischer.

De nadelen ervan komen nu in zicht. Hergebruik van de stoffen, het water of nuttige toepassing van reststoffen kwam niet in beeld. Samenstelling van de afvalstroom werd niet of maar beperkt in de gaten gehouden en er vond geen terugkoppeling naar de procesvoering plaats. Omdat het beheer bij anderen lag, werden eigen problemen die tot afval leiden niet onderkend. Dat leverde het bedrijf onbekende verliezen en de verwerker onverwachte problemen.

De technologie die ontwikkeld werd, draagt daar de sporen van. Ze moeten afvalstromen verwerken die ontstaan zijn door zeer diverse kleinere stromen te mengen. En onder een grote range van condities aan steeds strengere eisen voldoen. Het maakt zeer complexe én dure installaties noodzakelijk. Een extreem voorbeeld is wel de rookgasreiniging na een centrale chemisch-afvalverbrandingsinstallatie. Zie figuur 1.

Die 'uit het oog, uit het hart' aanpak is aan het verdwijnen. De centrale verwerkers buiten het bedrijf, maar zeker ook die binnen het bedrijf, gaan eisen stellen. Enerzijds omdat zij aan steeds zwaardere eisen moeten voldoen, anderzijds om de kosten, die daardoor toenemen, meer gericht te kunnen doorbelasten. De 'producent' van het afval moet zich bezighouden met de kwaliteit van zijn afvalstroom. Of het nu vast afval is dat naar een stort gaat of een verbrandingsinstallatie, afvalwater dat naar een zuivering binnen of buiten het bedrijf gaat of gassen die naar een centrale zuivering gaan. Hoeveelheid, samenstelling en fluctuaties daarin moeten worden gemeten en er worden eisen aan gesteld. Er is een organisatorische koppeling aan het ontstaan via geld en via eisen.

Ook functioneel is een (eenduidiger) koppeling aan het ontstaan. Door de strengere eisen aan lozingen als zodanig maar ook aan het functioneren van de zuiveringsinstallaties in verband met secundaire emissies, blijkt het niet meer zo verstandig, technisch en/of economisch, om afvalstromen van allerlei aard en oorsprong gezamenlijk te behandelen. Tegelijk is de aandacht voor het verband tussen het proces en de emissies toegenomen. Men realiseert zich steeds meer dat afval ook verlies aan grondstof en produkt is. Beide zaken leiden ertoe dat er een duidelijke functionele koppeling aan



Figuur 1: Rookgasreinigingstrein nodig na chemische afvalverbranding. Tussen haakjes zijn de delen geplaatst waarvan de noodzaak nog niet zeker is.

het ontstaan is tussen het vervuילend proces of de activiteit en de milieutechniek die daarvoor gebruikt wordt. De ontwikkeling van milieutechnologie, het slim combineren van basisprincipes zal zich nog veel meer diversificeren. Er is een trend naar meer op het specifieke proces toegespitste milieutechniek. Dat kan omdat de afvalstromen kleiner, geconcentreerder en eenvoudiger zijn. De milieutechniek wordt een onderdeel van de normale procesvoering. En in de praktijk zal ze ook fysiek en organisatorisch bij de installatie gaan horen.

Langzamerhand ontstaat zo een geïntegreerde aanpak. Het zal ertoe leiden dat bij proceswijzigingen het effect op de 'toegevoegde' techniek direct wordt meegenomen. Omgekeerd kan een goed beheer van de milieu-installatie om te voldoen aan de eisen optimalisatie van het proces vragen. Dat kan leiden tot 'schonere' meer geïntegreerde technologie waarbij de oorspronkelijke 'end-of-pipe'-techniek een volstrekt normaal onderdeel van de hele installatie is. Dat is het startpunt om tot 'integrale schone technologie' te komen waarbij de afvalstromen in de optimalisatie van een proces of activiteit worden meegenomen.

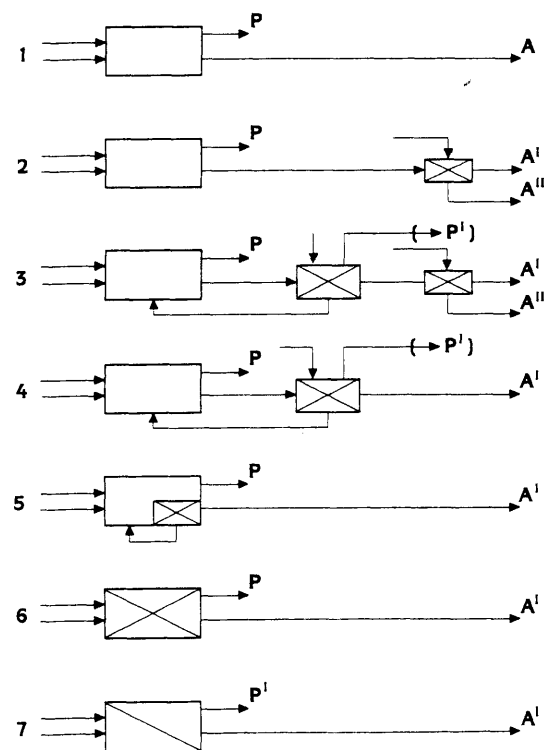
'End-of-pipe-techniek', de klassieke milieutechniek, gaat een onderdeel vormen van 'schone technologie'. Alleen in uitzonderingsgevallen zal de procesaanpassing tot schone technologie zo zijn dat de specifieke techniek niet meer als zodanig herkenbaar is. Meestal zal een milieutechniek, her-

kenbaar aan zijn specifieke wijze van werken, nodig vanwege de toch altijd moeilijke condities die in reststromen of te hergebruiken stromen gelden, nodig blijven. Al was het maar vanwege de zeer lage restconcentraties die geëist worden in te lozen stromen. Figuur 2 geeft een aantal vormen die de toepassing van een milieutechniek kan aannemen.

3. Een toekomst voor toegevoegde technieken

Milieutechnologie is op dit moment de belangrijkste methode voor bescherming van het milieu. De ontwikkeling naar andere, schonere, processen en andere wijzen van produceren is nog maar in de beginfase. Een fundamenteel nieuw proces ontwikkelen, testen en implementeren kost makkelijk tien

Schoonmaaktechnologie → Schone technologie



Figuur 2: Overgang van toegevoegde techniek en schone technologie.

1 is het oorspronkelijke proces en gaand van 2 naar 7 schuiven we naar een meer geïntegreerde aanpak. (P is het gewenste product, A de oorspronkelijke afvalstroom, A' de acceptabele afvalstroom, A'' een mogelijk extra afvalstroom.) In 2 is een 'end-of-pipe' op de klassieke manier ingezet, in 3 is een combinatie van technieken ingezet om hergebruik mogelijk te maken, bij 4 is een verbeterde techniek voldoende voor voldoen aan de eisen met hergebruik van de afgescheiden componenten, bij 5 is de techniek in het proces geïntegreerd, bij 6 is de integratie compleet en de afzonderlijke techniek niet apart herkenbaar. Bij 7 is een oplossing gekozen waarbij een productwijziging (P') is gekozen en het daarbij behorende aangepaste zodat eenvoudiger aan de eisen kan worden voldaan.

jaar en meer. En alles zal zeker niet tegelijk kunnen worden aangepakt. Veel bestaande activiteiten en installaties zullen, zij het met continue verbeteringen maar in essentie ongewijzigd, de komende decennia toegepast blijven. Nog fundamentele aanpak van onze produktie en leefwijze om tot een duurzame economie te komen, zal nog wat decennia meer vragen (4).

Als we kijken naar de groei van de bevolking en de menselijke activiteiten op de wereld, naast de huidige milieubelasting op allerlei gebied tegenover de niveaus van milieubelasting die als duurzaam worden gezien, dan is niet te verwachten dat zonder toegevoegde technieken ooit zelfs maar een enigszins acceptabele belasting van het milieu bereikt zal worden. Zeker niet op afzienbare termijn.

Bij pleidooien voor procesgeïntegreerde en schone technologie, wordt de bijdrage van toegevoegde c.q. schoonmaaktechnologie daarbij niet altijd voldoende onderkend of aangegeven. De technieken die hiervoor zijn ontwikkeld moeten echter in de ontwikkeling van schonere processen en duurzame produktie een essentiële rol worden toegekend. Er is een rangorde in de aanpak van preventie, beperking, procesoptimalisatie naar een laatste reinigungsstap, maar zonder die laatste werkt het niet (5). Bij elk proces, elke activiteit zijn restemissies. Al zal die soms heel klein zijn. Toch zal die verder behandeld moeten worden omdat ook de eisen steeds scherper worden. Neem als voorbeeld de laag-NOx-brander- en stooksystemen. Met een goed ontwerp van de installatie kan al een heel lage NOx-uitwerp worden bereikt. Met de eisen die in de toekomst gelden, zal in veel gevallen zelfs na zo'n schone(re) techniek een toegevoegde techniek als een katalytische deNOx moeten worden geplaatst.

Bij de ontwikkeling van schone processen en een andere wijze van produceren zelf is de basiskennis uit de milieutechniek nuttig en mogelijk essentieel. Waar 'moeilijke' stofstromen niet te vermijden zijn, zullen ze zo effectief mogelijk, direct aan de bron aangepakt worden. Dat moet liefst zo gebeuren dat de zo ontstane reststromen weer toepasbaar zijn, in het proces zelf of elders. De kennis over scheiden van moeilijke stromen, het omgaan met moeilijke componenten, de methodologie om de technologie aan te passen aan de specifieke condities is eigen aan

de milieutechnologie. De omstandigheden die de ontwikkeling daarvan stuurden, leiden tot inventieve toepassing van fysische, chemische, mechanische en biologische basisprincipes, vaak in interessante combinaties zoals hiervoor beschreven.

Voorbeelden zijn de winning van nuttige produkten uit afvalstromen (fosfaat door selectieve precipitatie, metalen door extractie, zwavel uit rookgas), het reinigen van water of gas/lucht zodat het weer kan worden gerecirculeerd, het terugwinnen van componenten met een zo hoge zuiverheid dat ze direct weer in het proces terug kunnen, selectieve winning of verwijdering van produkten of bijprodukten uit reactiemengels waardoor de processen continu of tenminste langduriger bedreven kunnen worden (met name interessant in fermentatieprocessen: ethanol door middel van membranen). Veel technieken toegepast in de recycling vallen in deze categorie. Ook integraal ketenbeheer kan niet zonder.

Daarnaast kan een deel van de afvalstromen voorkomen worden door (ruwe) grondstoffen vooraf te zuiveren. De ongewenste component is dan veelal nog in een hogere concentratie aanwezig, het kan worden opgenomen in de grondstofvoorbehandeling die toch nodig is en betere grondstoffen leiden tot simpelere en schonere processen. Ook hier zijn de ervaringen van milieutechnologie goed toepasbaar. Overigens kan daarbij worden opgemerkt dat de basisprincipes en -technieken van sommige milieutechnologieën afkomstig zijn uit grondstofwinning en -opwerkingstechnieken, met name in de mijnbouw. De evolutie die ze als milieutechnologie hebben ondergaan wordt dan weer ten nutte gemaakt op dat terrein.

Het kiezen voor een specifieke uitvoering van een proces blijft het resultaat van een afweging van een aantal factoren. Naast milieu- en veiligheids-eisen spelen kosten een rol ook als we allerlei 'maatschappelijke kosten' daarin hebben verdisconteerd; marktmogelijkheden, bij voorbeeld van op zich milieuverantwoorde reststromen, geografische omstandigheden, etc. moeten worden meegenomen.

De eerder genoemde procesoptimalisatie die rekening houdt met deze factoren kan dan best leiden tot een proces waarin wat minder gestreefd wordt naar schone technologie en wat meer toch 'toegevoegde' technieken worden

toegepast. Een optimalisering moet in een totaal kader passen. Ook hier speelt inzicht in de totale keten een rol.

Een voorbeeld is de rookgasontwikkeling. Verwijdering van zwavel vooraf uit de kool is geprezen als een schone (re) technologie. Rigoureuze verwijdering vooraf kost echter veel energie en levert ook afval dat moeilijk bruikbaar is. De keuze om bij rookgasreiniging gips in plaats van een gemengd slib te maken kwam onder druk te staan toen de markt ermee werd overvoerd en het gips gestort moest worden. Dat levert effectief een nadeel voor het milieu ten opzichte van het storten van de slib, omdat er meer energie en hulpstoffen zijn verbruikt. Andere routes leiden weer tot een groter energieverbruik wat moet worden afgewogen tegen de winst door verminderde stort.

Ten slotte: voor het komen tot integraal schonere technologie is fundamenteel nieuwe techniek niet altijd nodig. Toepassen van de nu bekende principes van milieutechniek, het integreren van goed functionerende milieutechniek bij het optimaliseren van processen kan direct veel bijdragen. Er is al veel om mee te werken. En dat biedt nog veel mogelijkheden voor verdere ontwikkeling.

4. Conclusie

Toegevoegde technologie en procesgeïntegreerde technologie zijn nauw verweven. Als we de steeds verscherpende doelstellingen ooit willen halen zullen we beide nodig hebben. De uitdaging is van beide optimaal gebruik te maken waarbij de kennis en de technologie van toegevoegde technieken een essentiële ondersteuning zijn voor een procesgeïntegreerde aanpak. Het nut van 'end-of-pipe-technologie' is nog lang niet ten einde.

Noten en literatuur

1. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de begrippen schone technologie, procesgeïntegreerde aanpak, 'zero waste production' duidelijk niet altijd op dezelfde wijze worden gebruikt. Dat constateer je al bij subsidieregelingen voor schone technologie.

2. Ontleend aan J. Venselaar en A. Jol, Standaardtechnieken voor afscheiding van stof uit gasstromen, 12 *Processtechnologie* (1987), 9, 15-23.

3. Een voorbeeld zijn de rookgasontzuiveringsprocessen waarbij enerzijds regeneratieve processen ontstaan waarin de hulpstoffen worden recycled en anderzijds wordt gestreefd

naar restprodukten die elders weer als grondstof kunnen worden gebruikt: gips in plaats van afvalslibmengsels, zwavelzuur of SO₂ (J. Venselaar, Evolution of flue gas desulphurisation processes, *Environmental Protection Bulletin*, 020 (1992), 3-13.

4. Zie bij voorbeeld de intreerede van prof. dr. ir. J.L.A. Jansen, *Duurzaam denken, duurzaam doen*, Delft, 22 mei 1991.

5. Zie bijvoorbeeld M.E. Goldblatt, K.S. Eble en J.E. Feathers, Zero discharge: What, why and how, *Chemical Engineering Progress* (1993), nr. 4, 22-7, en A. Hassan en S. Kostka, Methodik des produktionsintegrierten Umweltschutzes in der chemischen Industrie, *Chem.-Ing.-Techn.* 65 (1993), nr. 4, 391-400.

J. Venselaar

Not yet end of the line for end-of-pipe technology

The emphasis that is presently put on clean and integrated technologies, does not imply that the conventional environmental technologies, developed for end-of-pipe treatment, will become obsolete. Development of new processes, other production methods and complete different ways to satisfy human needs which have neglectable impact on environment, will take decades. Besides no activity will be completely without a, potential, environmental impact. Furthermore, development of these low-environmental impact processes can make good use of those very effective and efficient technologies developed originally for removing pollutants under often difficult process conditions. The 'end-of-pipe technology' will not disappear. It will get integrated more into the processes.
