

Suspro<sup>3</sup>: Werkgroepen Milieu en Energie  
Centexbel Gent – 15 september 2011



# Optimalisatie van bestaande zuiveringsinstallaties en implementatie van nageschakelde technieken om effluentconcentraties te reduceren

Jan Gruwez – TREVI nv



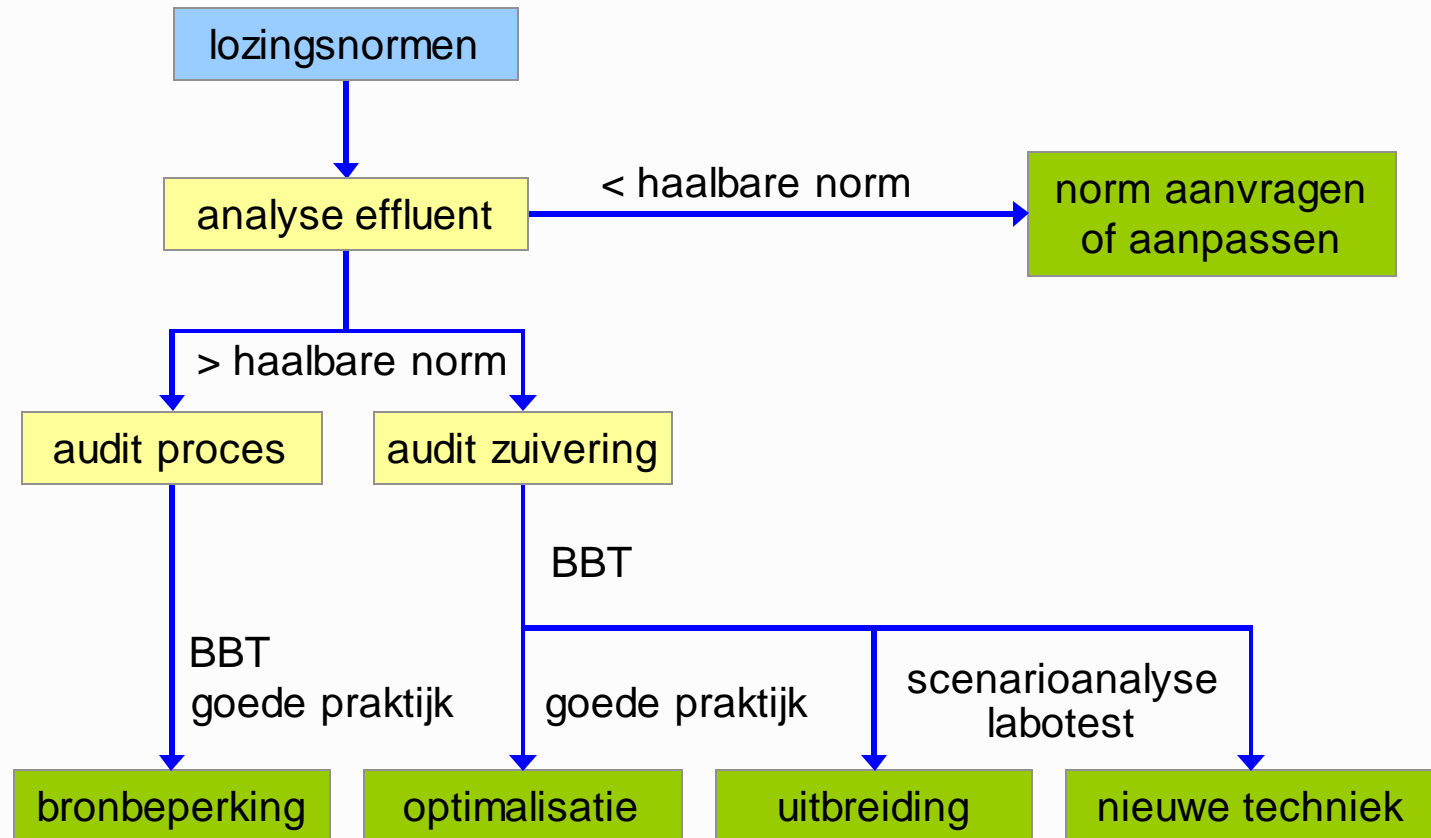
TREVI nv  
Dulle-Grietlaan 17/1  
B-9050 Gentbrugge  
Tel. +32 9 220 05 77  
Fax +32 9 222 88 89  
[www.trevi-env.com](http://www.trevi-env.com)

# Inhoud

- Bronbeperking
  - Afvalwateraudit
  - Best Beschikbare Technieken (BBT)
- Klassieke zuiveringstechnieken
  - Fysicochemische afvalwaterzuivering
  - Biologische afvalwaterzuivering
- Nageschakelde zuiveringstechnieken en deelstroombehandeling
  - Zand- en actief koolfiltratie
  - Ionenuitwisseling
  - Membraantechnieken
  - Geavanceerde oxidatieprocessen (AOP)
  - Indamping

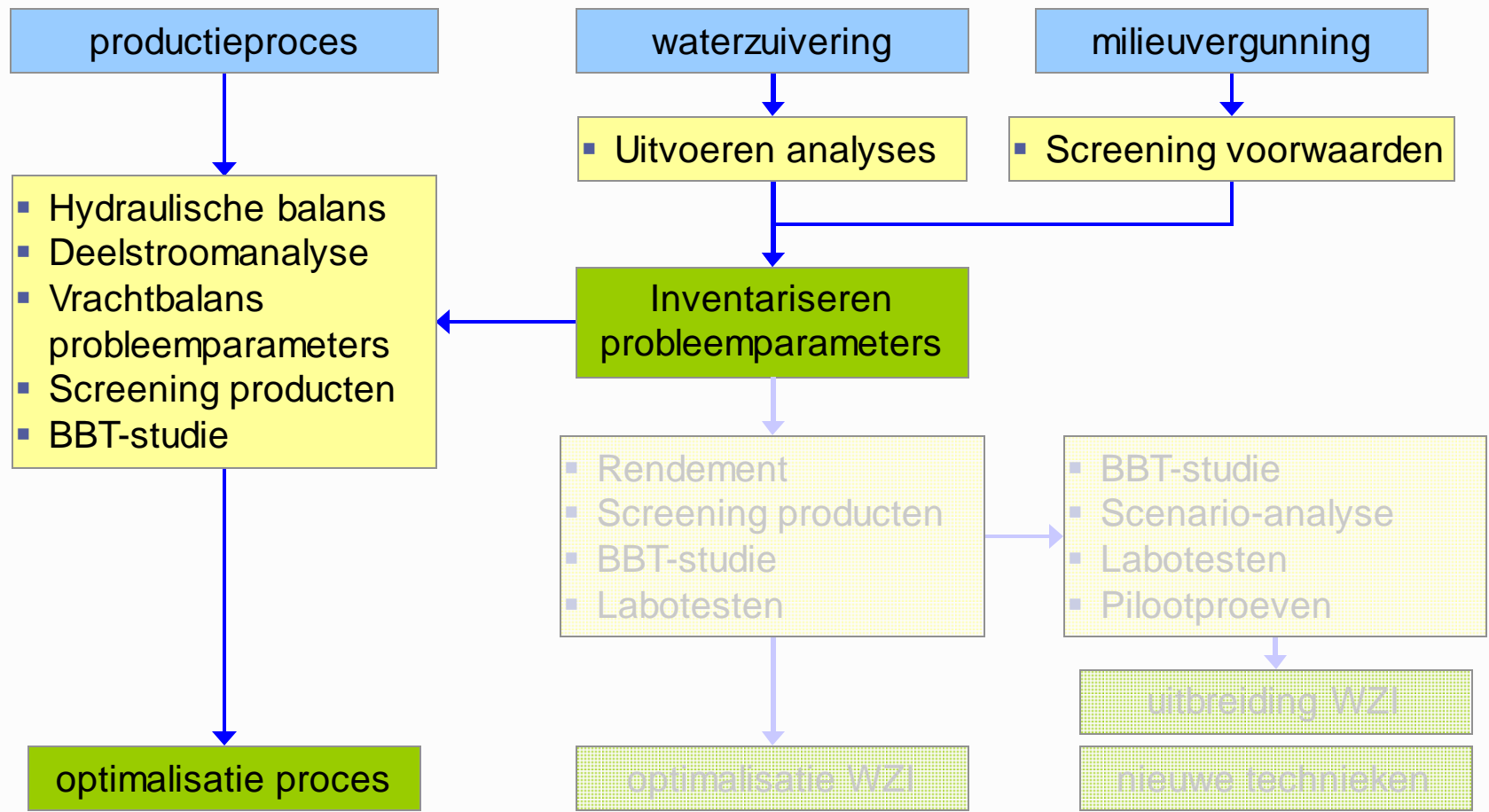
# Afvalwateraudit (1)

- Globale aanpak



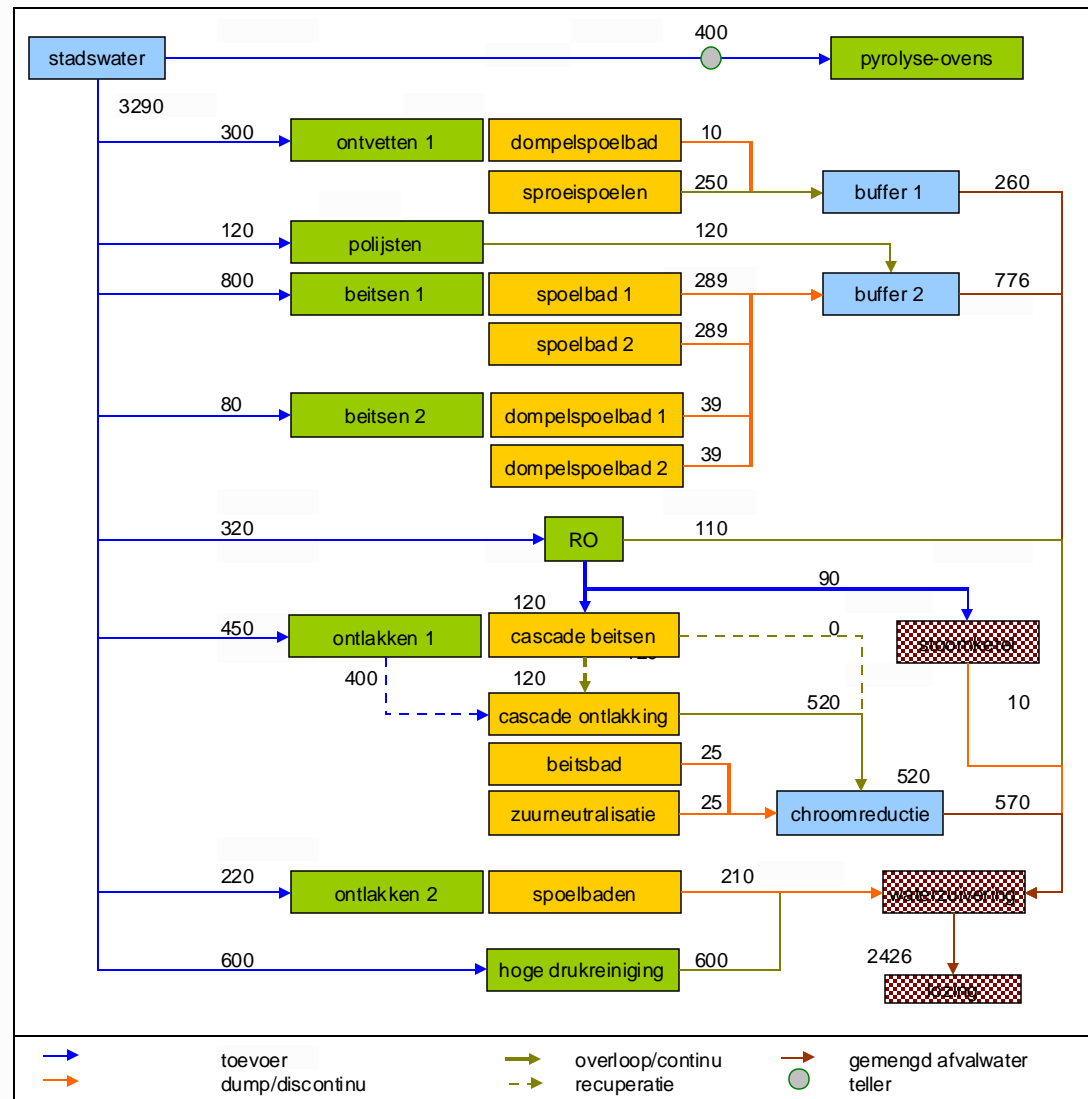
# Afvalwateraudit (2)

## Verloop afvalwateraudit in functie van procesoptimalisaties



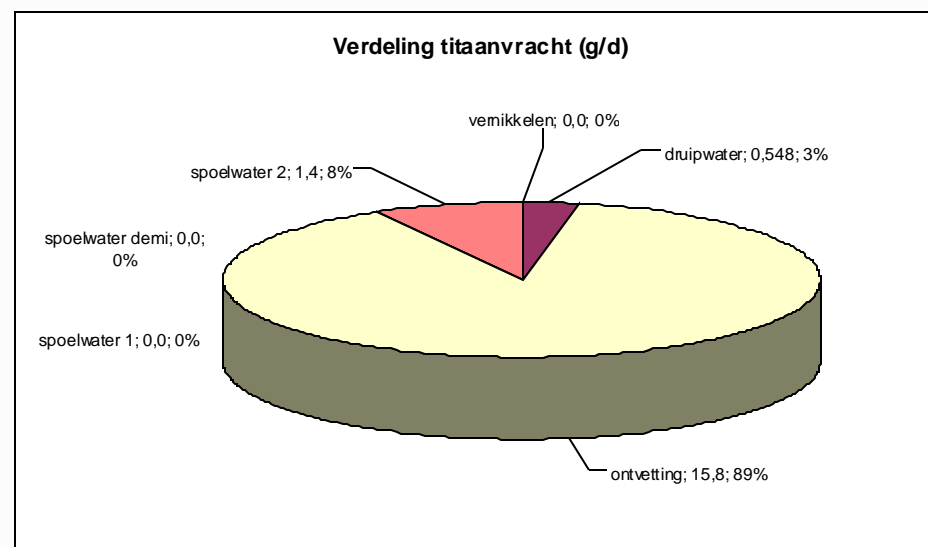
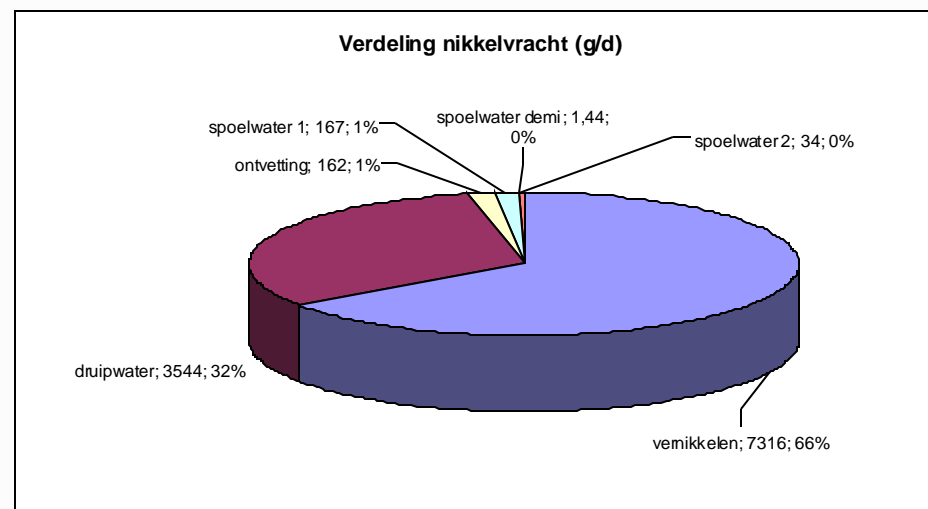
# Voorbeeld waterbalans

- **Onderscheid:**
  - Voedingswater
  - Behandeling
  - Type afvalwater
  - Geteld/geraamd
  - ...
- **Hydraulisch:**
  - In m<sup>3</sup>/uur
  - In m<sup>3</sup>/dag
  - In m<sup>3</sup>/jaar
- **Rekening houden met:**
  - Buffering
  - Verdamping
  - Externe afvoer
  - ...
- **Eindcontrole:**
  - Input = output



# Voorbeeld vuilvrachtbalans

- **Probleemparameters**
  - Oplijsten bronnen (input)
    - Grondstoffen
    - Suppletiewater
    - Gebruikte producten
  - Aanwezigheid per proces
  - Relevante deelstromen
    - Monsternamen en analyse
    - Resultaten in mg/l
- **Via hydraulische balans omzetten naar vuilvrachten**
  - In g/uur
  - In g/dag
  - In kg/jaar
  - Procentuele verdeling (%)
- **Eindcontrole**
  - Input = output



## Aandachtspunten

- **Opvolging waterverbruik**
  - Watertellers op belangrijkste verbruikersposten
  - Registratie verbruik niet enkel voor leidingwater en grondwater maar ook voor hemelwater, oppervlaktewater en/of gerecycleerd afvalwater
  - Tellerstanden op regelmatige tijdstippen noteren (bijhouden logboek)
  - Maatregelen nemen indien overschrijding alarmgrenswaarde
  - Berekenen verbruik per productie-eenheid
    - m<sup>3</sup> per geproduceerde wagen
    - m<sup>3</sup> per kg textiel
    - m<sup>3</sup> per hl bier
  - Toetsen aan data BBT
  
- **Opvolging geloosde vuilvracht**
  - Analyses uitvoeren op representatieve stalen
  - Bij voorkeur in meervoud ter bevestiging van resultaten
  - Vuilvracht relateren aan grondstoffenverliezen
    - Lozing van 1 kg COD = verlies van 1 kg suiker
  - Toetsen aan data BBT

# BBT-screening



- Best Beschikbare Technieken
  - BBT-studies VITO (<http://www.emis.vito.be>)
  - BREF : Europese referentiedocumenten BBT(<http://eippcb.jrc.es> en <http://www.emis.vito.be>)
  - Beton, dranken, grafische sector, houtverwerking, textiel, oppervlaktebehandeling (metalen en kunststoffen, organische oplosmiddelen), schrootverwerking, slachthuizen, ziekenhuizen, voeding, polymeren, keramische industrie, ...
  - Focus:
    - Preventie
    - Procesgeïntegreerde maatregelen
    - Hergebruik
    - End-of-pipe technieken
  - Enkele voorbeelden op volgende slides met onderscheid tussen:
    - Toepassen van BBT met betrekking tot bronbeperking
    - Toepassen van BBT voor de behandeling van deelstromen en kringloopsluiting
    - Toepassen van BBT als end-of-pipe zuivering



# BBT: bronbeperking

- Waterbesparende maatregelen
- Preventie en grondstoffenbeleid, gebruik van alternatieve producten

Sector	BBT
Algemeen	Organisatorische maatregelen en good-housekeeping (sensibilisering, monitoring, werkprocedures,...) Waterkwaliteit volgens behoefte en inzetten alternatieve waterbevoorrading (hemelwater, oppervlaktewater,...)
Textielindustrie	Afscheiden wolvet voor valorisatie, textiel en water in tegenstroom, bobijnverven intermitterend spoelen,... Producten met PCP bannen, bleken met peroxide in plaats van met chloor, verfkeuken automatiseren, palet kleurstoffen en hulpmiddelen beperken,...
Oppervlaktebehandeling van metalen	Meesleepverliezen reduceren, standtijd procesbaden verlengen, cascadespoeling, hergebruik spoelwater,... Loodvrije verven, boorvrij ontvetten, nikkelvrij fosfateren, chroomvrij passiveren, complexvormers vermijden,...
Betoncentrales	Hergebruik afvalwater en realisatie nullozing Gebruik van (verontreinigd) hemelwater

## BBT: deelstroombehandeling

- Afzonderlijke behandeling van bepaalde deelstromen
- Realiseren kringloopsluiting (“closed loop”)
- Afvoer concentraatstromen naar erkend verwerker

Sector	BBT
Algemeen	Afvoer deelstromen naar erkend verwerker (beperkt debiet)
Textielindustrie	Zelfneutralisatie, caustic recovery plant (recuperatie NaOH) Hergebruik spinoliën en sterkmiddelen Verdunde alkali mercerisatie hergebruiken in bleken of verven
Chemie	KWS terugwinnen bij productie aromaten door strippen met stoom Ethyleenglycol concentreren en terugwinnen
Oppervlaktebehandeling van metalen	Chroomreductie, cyanide-ontgiftiging, ... Kringloopsluiting via membraanfiltratie (UF, NF, RO), ionenuitwisseling, indamping, zuurretardatie, ...
Ziekenhuizen	Amalgaamafscidders afdeling tandheelkunde Aparte afvoer fixeer en ontwikkelaar (radiografie)

## BBT: end-of-pipe zuivering



- Techniekkeuze mede bepaald door feit of in openbare riolering of in oppervlaktewater wordt geloosd
- Uitvoeren scenarioanalyse
- Opmaak kosten-batenanalyse per scenario

Sector	BBT
Algemeen	Maximale implementatie BBT via kosten-batenanalyse Rekening houden met investerings- én werkingskosten
Textielindustrie	Bij voorkeur rechtstreekse biologische zuivering, eventueel gevolgd door beperkte fysicochemische nabehandeling
Voedingsindustrie	Anaerobe biologische zuivering concentraatstromen Aerobe biologische zuivering met nitrificatie en denitrificatie
Papier- en kartonindustrie	Fysicochemische en biologische zuivering Membraanfiltratie (UF) met hergebruik permeaat
Betoncentrales	Bezinkingsbekkens met waterhergebruik aanmaak beton Fysicochemische behandeling met recyclage slib en water
Oppervlaktebehandeling van metalen en chemie	Fysicochemische en biologische zuivering Indamping met hergebruik condensaat

# Fysicochemische waterzuivering



- Toepasbaarheid
  - Voornamelijk verwijdering anorganische vervuiling
- Principe
  - Coagulatie/flocculatie
- Screening afvalwaterzuivering via audit
  - Inventariseren influentstromen
  - Bepalen zuiveringsrendementen
- Mogelijke optimalisaties
  - Configuratie
  - Sturing

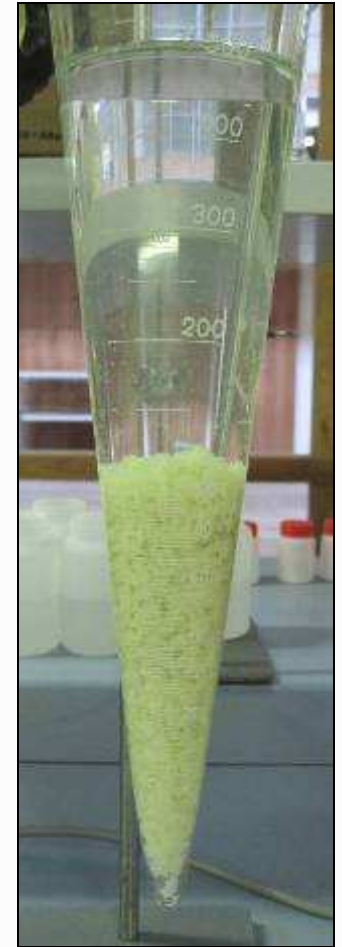
# Fysicochemische waterzuivering



- Fysicochemische behandeling = afscheiding van deeltjes door dosering van chemicaliën
- Voornamelijk behandeling van anorganische vervuiling
  - Verwijdering van COD die gebonden is aan zwevende stoffen (geen verwijdering van COD in oplossing)
  - Stikstof wordt meestal niet of slechts in beperkte mate verwijderd
- Technieken
  - Neutralisatie (vóór lozing of vóór biologische behandeling)
  - Flotatie (DAF, ev. doseren van coagulant)
  - Coagulatie (ontladen van zwevende en colloïdale deeltjes)
  - Precipitatie van zware metalen (neerslaan als hydroxiden, sulfiden, carbonaten of fosfaten)
  - Chromreductie (reductie van  $\text{Cr}^{6+}$  naar  $\text{Cr}^{3+}$  na pH-verlaging)
  - Cyanideverwijdering (oxidatie met bv.  $\text{NaOCl}$  na pH-verhoging)
  - Fosfaatverwijdering
- Vaak combinatie van diverse technieken
- Sterk belaste stromen worden bij voorkeur tweetraps behandeld

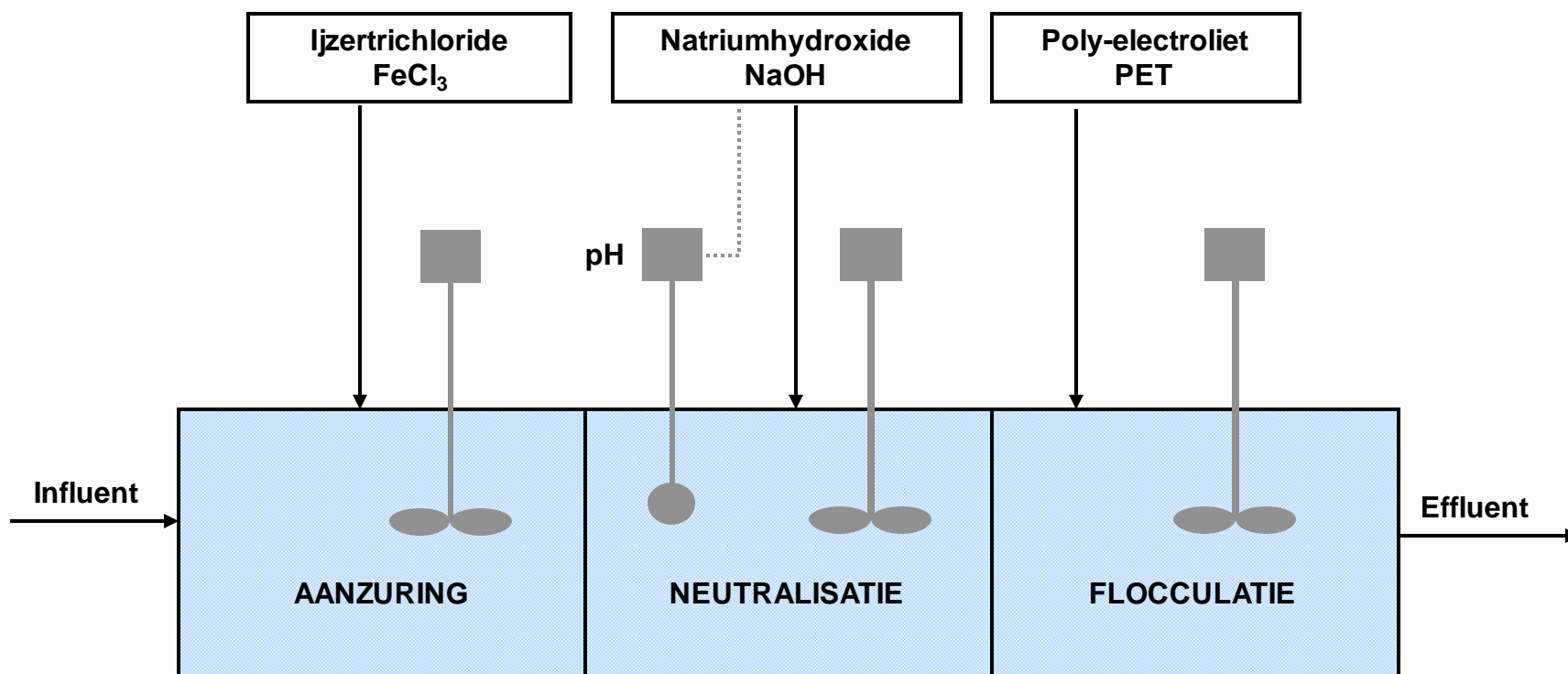
# Coagulatie – flocculatie (1)

- Principe coagulatie met ijzertrichloride:
  - Aanzuren met zwavelzuur = breken van olie-emulsies
  - Coagulatie met ijzertrichloride = verwijderen van fosfaat:
$$\text{PO}_4^{3-} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{FePO}_4\downarrow + 3 \text{Cl}^-$$
  - Neutralisatie met natriumhydroxide = neerslaan van zware metalen:
$$\text{Me}^{m+} + m \text{NaOH} \rightarrow \text{Me}(\text{OH})_m\downarrow + m \text{Na}^+$$
$$\text{Zn}^{2+} + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + 2 \text{Na}^+$$
  - Flocculatie met poly-elektrolyet = bevorderen van vlokvorming
- Coagulatie en fosforverwijdering met kalkmelk:
$$2 \text{PO}_4^{3-} + 3 \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6 \text{OH}^-$$



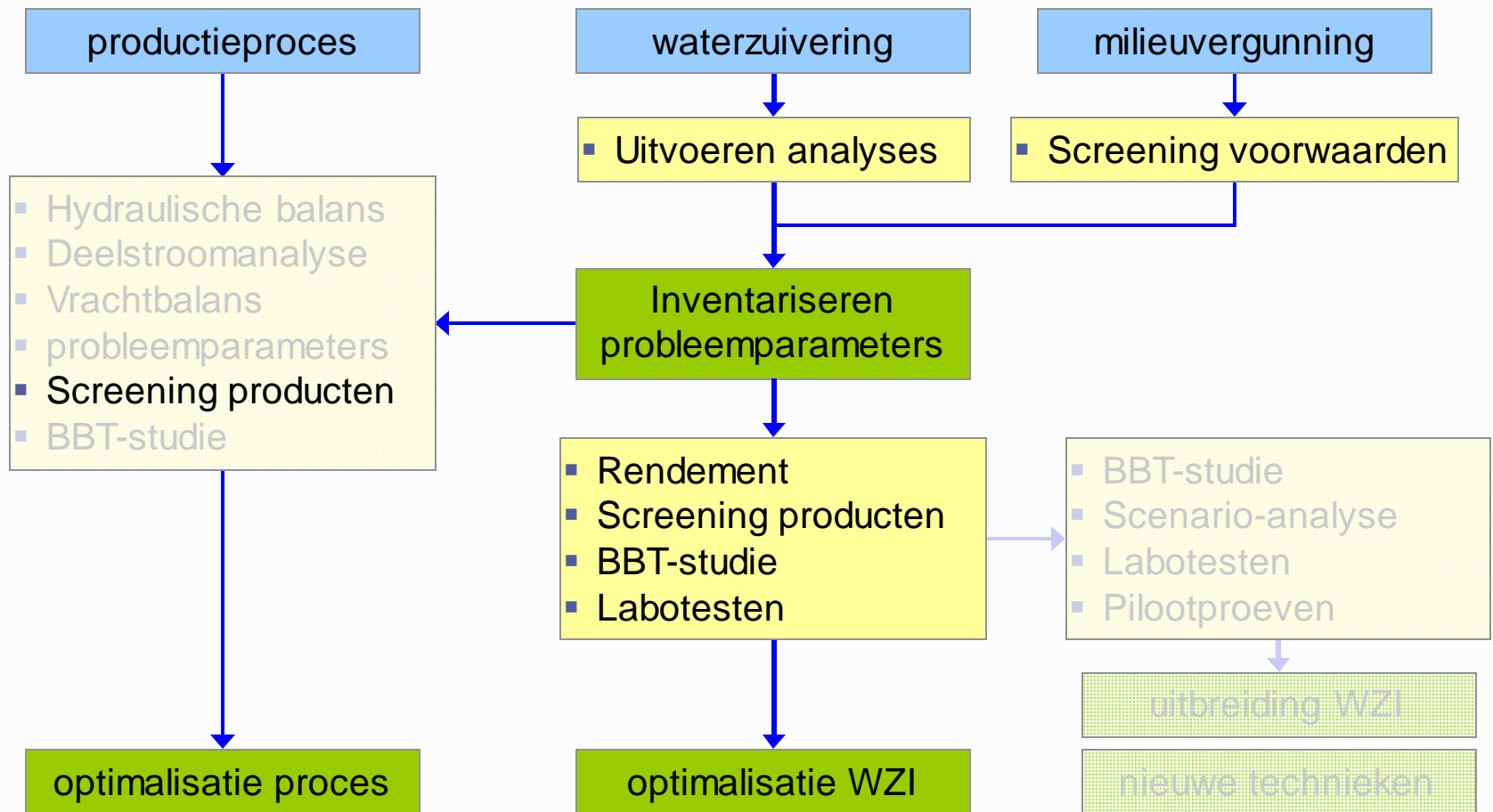
## Coagulatie – flocculatie (2)

- Uitvoering:



# Screening afvalwaterzuivering

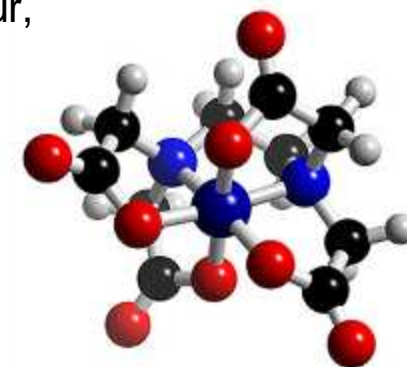
- Verloop afvalwateraudit in functie van optimalisatie waterzuivering





# Inventariseren influentstromen

- Uitvoeren analyses
- Screening gebruikte producten
  - Samenstelling (MSDS-fiches)
  - Verbruiken
- Vermijden van complexvormers
  - Verhindere neerslagvorming of lossen neergeslagen hydroxiden terug op
  - Mogelijke complexvormers met een negatieve invloed op het rendement van de fysicochemische afvalwaterzuivering
    - Gluconaten, gluconzuur
    - Wijnsteen zuur, citroenzuur, oxaalzuur, appelzuur,
    - Ethyldiamine, ethyleendiamine, triethanolamine
    - Etheendiamine tetra azijnzuur (EDTA)
    - Diëtheen triamine penta azijnzuur (DTPA)
    - Polyfosfaten, thiosulfaten, ammoniak, cyaniden



# Optimalisatie fysicochemie (1)



- Configuratie zuivering
  - Correcte verblijftijden
    - volume tanks in verhouding tot verwerkingsdebiet
  - Mengsnelheid roerwerken
    - Snelle mixers voor coagulatie tanks (goede menging afvalwater en chemicaliën)
    - Trage mixer voor flocculatie tank (stukslaan vlokken vermijden)
  - Locatie chemicaliëndosering
    - Niet in de nabije omgeving van overstortopening
  - Nabezinker
    - Oppervlaktebelasting ( $\text{m}^3/\text{h}$  per  $\text{m}^2$  bezinkingsoppervlak)
    - Conische bodem
    - Bezonken slib tijdig uitpompen naar slibopslagtank
    - Uitspoeling zwevende stoffen vermijden daar deze nagenoeg alle parameters beïnvloeden
    - Eventueel gebruik maken van schuine platen (lamellenseparator)

## Optimalisatie fysicochemie (2)



- Optimalisatie chemicaliëndosering
  - Type
    - Selectie op basis van te verwijderen parameters en gewenst verwijderingsrendement (uitvoeren jarrest)
    - Soms extra chemicaliëndosering vereist voor bijkomende parameters (PAC voor fluorideverwijdering)
    - Correcte keuze polymeer (anionisch, non-ionisch, kationisch, ...)
  - Doseerhoeveelheid
    - Dosering in functie van vervuiling en te verwijderen parameters (automatische sturing in functie van debiet, pH, redox,...)
    - Overdosering vermijden (extra kost chemicaliën en slib, extra input van zouten die eventueel kan resulteren in normoverschrijding)
    - Overmatige polymeerdosering kan leiden tot ongewenste flotatie
  - Werkingsgebied respecteren
    - Voornamelijk pH, temperatuur,...
    - Polymeer: rijpingstijd, mengsnelheid, verdunning, pH-gebied,...

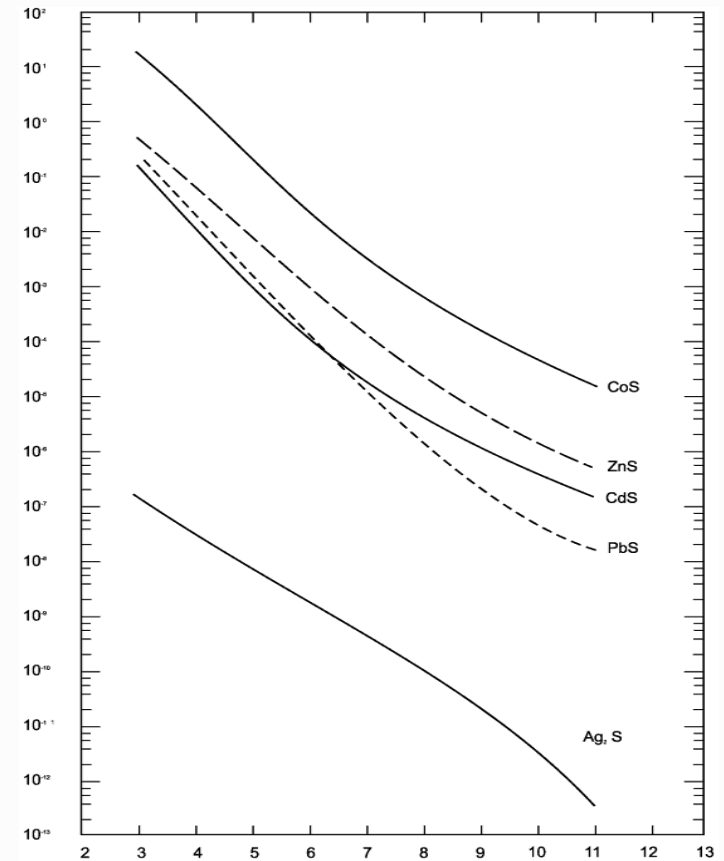
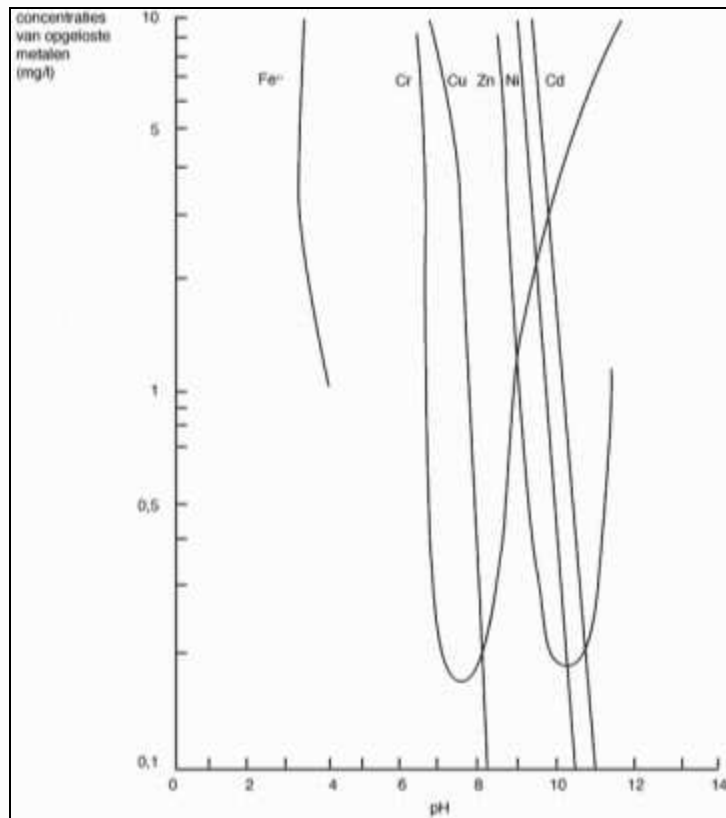
## Optimalisatie fysicochemie (3)



- Optimalisatie pH-instelling
  - Verwijderingsrendement metalen voornamelijk bepaald door matrix en pH-setpoint neutralisatie
  - Verhogen van verwijderingsrendement voor metaal A door wijziging van pH kan resulteren in toename van de concentratie metaal B
  - Neerslagvoorwaarden: zie oplosbaarheidscurves
    - Antimoon optimaal en molybdeen en seleen enkel bij lage pH (pH 5)
    - Titaan enkel bij hoge pH (pH 9)
    - Sommige metalen zijn zeer moeilijk te verwijderen: boor (zeer oplosbaar), antimoon, seleen, beryllium, ...
  - Bij hoge pH-waarden: scheiden van effluent en slib vóór pH-correctie (HCl of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in eindneutralisatie)
  - Moeilijk te combineren in 1 trap = deelstroombehandeling of nabehandeling in 2<sup>e</sup> fysicochemische trap overwegen

## Chemicaliën - pH

- Oplosbaarheid van metaalhydroxides en metaalsulfides in functie van de pH: pH-setpunt in functie van probleemparemeter
  - opmerking: mogelijke verschuiving naar andere parameters



# Biologische waterzuivering



- Toepasbaarheid
  - Voornamelijk verwijdering organische vervuiling
- Principe
  - Aerobe zuivering
- Screening afvalwaterzuivering via audit
  - Inventariseren influentstromen
  - Bepalen zuiveringsrendementen
- Mogelijke optimalisaties
  - Configuratie
  - Sturing

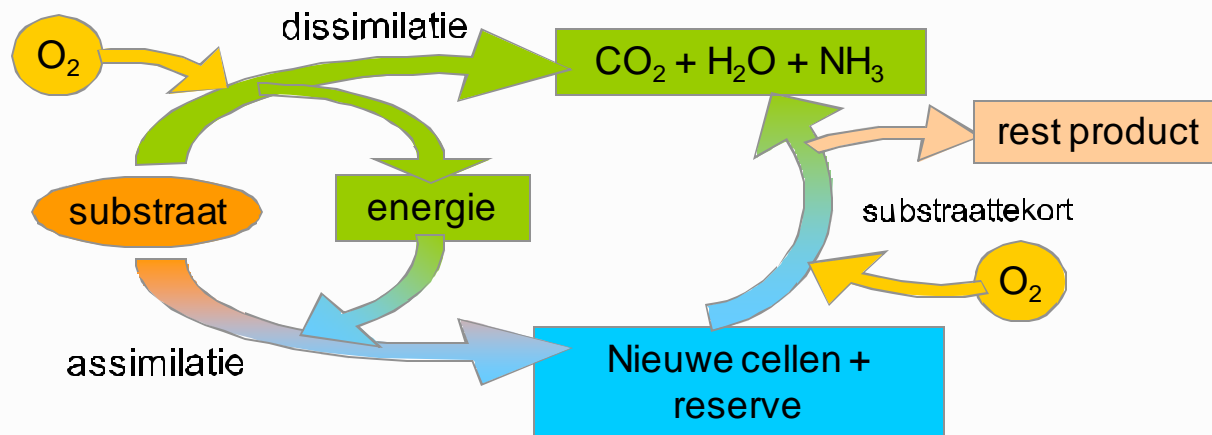
# Biologische waterzuivering



- Biologische zuivering = natuurlijk afbraakproces door micro-organismen in geconcentreerde en versnelde uitvoering
  - Eventueel voorbehandeling nodig (primaire zuivering d.m.v. zeven, roosters, pH-correctie, ontgifting )
  - Aerobe zuivering: in zuurstofrijk milieu
  - Anaerobe zuivering: in zuurstofloos milieu
  - Lagunering: in vijvers (lagunes)
- Biologische zuivering is in principe milieuvriendelijkste oplossing
  - Opgeloste COD wordt verwijderd in zoverre biologisch toegankelijk
  - Recalcitrante (niet biodegradeerbare) COD blijft achter
  - Biologische stikstof- en fosforverwijdering eveneens mogelijk mits aangepaste sturing
- Zuivering afhankelijk van karakteristieken en rendementseisen
  - Sterk belaste stromen vereisen soms een tweetraps behandeling (hoogbelaste en laagbelaste trap)
  - Soms combinatie van anaerobe en aerobe zuivering
  - Voorafgegaan door fysicochemische behandeling indien toxische stoffen aanwezig (bijvoorbeeld zware metalen)

# Aerobe waterzuivering (1)

- Bacteriewerking in zuurstofrijk milieu

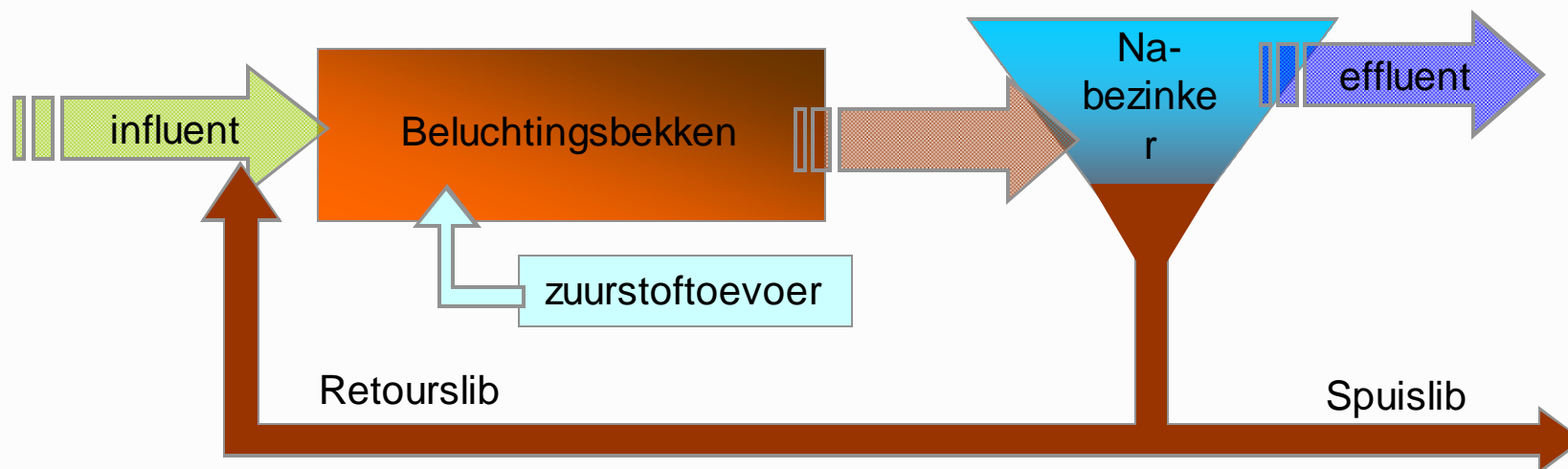


- Toepasbaarheid
  - Hoog verwijderingsrendement (COD-afbraak)
  - Relatief eenvoudige sturing
  - Biologische stikstofverwijdering voor de meeste stikstofverbindingen haalbaar via ammonificatie, nitrificatie en denitrificatie
  - Slibproductie afhankelijk van uitvoeringswijze (eerder groot)
  - Hoog elektriciteitsverbruik (zuurstofvoorziening)



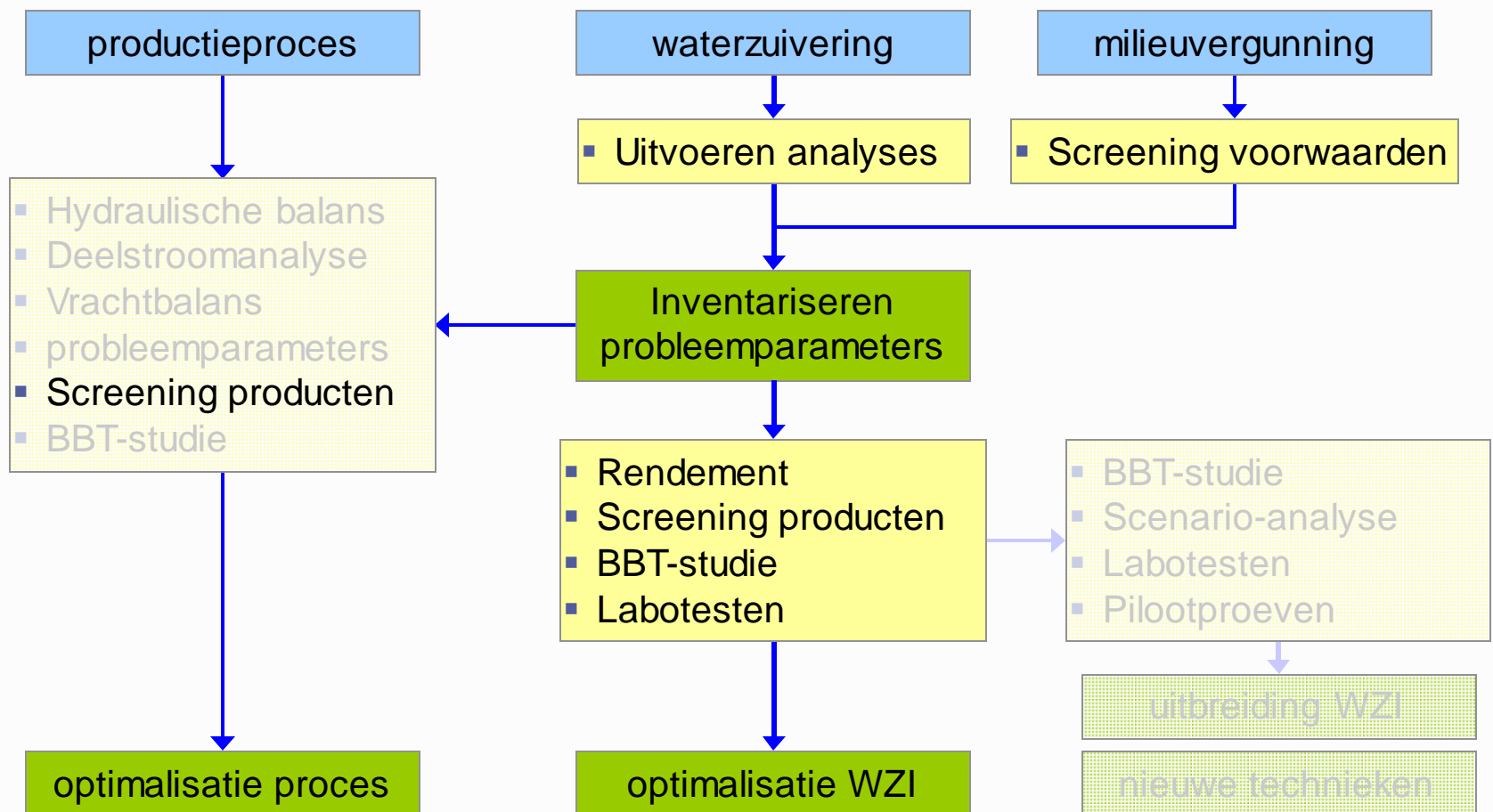
## Aerobe waterzuivering (2)

- Talloze uitvoeringsmogelijkheden
  - CAS, MBR, biofilter of oxidatiebed, biorotor, FBR
  - Beluchtingssystemen
    - Oppervlaktebeluchters (turbine - borstel)
    - Bellenbeluchters (grove - fijne)
- Actief slib: principe CAS (conventioneel actief slibstelsysteem)



# Screening afvalwaterzuivering

- Verloop afvalwateraudit in functie van optimalisatie waterzuivering



# Inventariseren influentstromen



- Uitvoeren analyses
- Screening gebruikte producten
  - Samenstelling (MSDS-fiches)
  - Verbruiken
- Vermijden van toxische stoffen (biocides, zware metalen,...)
  - Verstoren biologische activiteit
  - Impact zuurstofoverdracht
  - Bevorderen groei draadvormende bacteriën
- Controle relevante parameters
  - Via eenvoudige online apparatuur
    - pH
    - Temperatuur
    - Opgeloste zuurstof
    - Geleidbaarheid
    - Turbiditeit
  - Via meer complexe meetapparatuur
    - Total Organic Carbon (TOC)



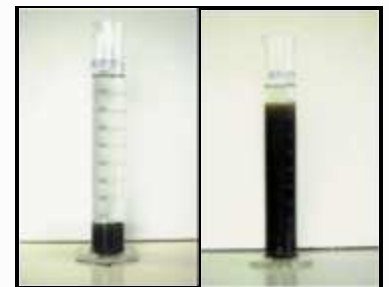
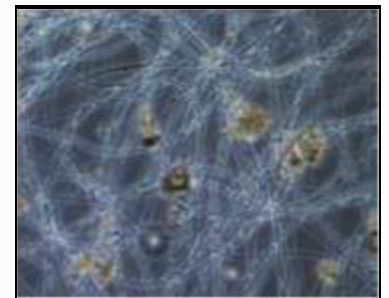
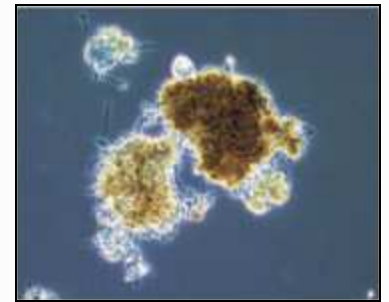
# Optimalisatie biologie (1)

- Configuratie zuivering
  - Buffering influent
    - Debiet (uitvlakken piekdebieten en eventueel spreiding van 5 dagen naar 7 dagen)
    - Samenstelling (uitvlakken van piekconcentraties)
  - Correcte dimensionering van diverse tanks
    - Bufferbekken
    - Denitrificatietank
    - Beluchtingsbekken
    - Nabezinker
    - Slibmineralisatietank
  - Correcte dimensionering van randapparatuur
    - Pompdebieten
    - Zuurstofbehoefte
    - Nutrientendosering



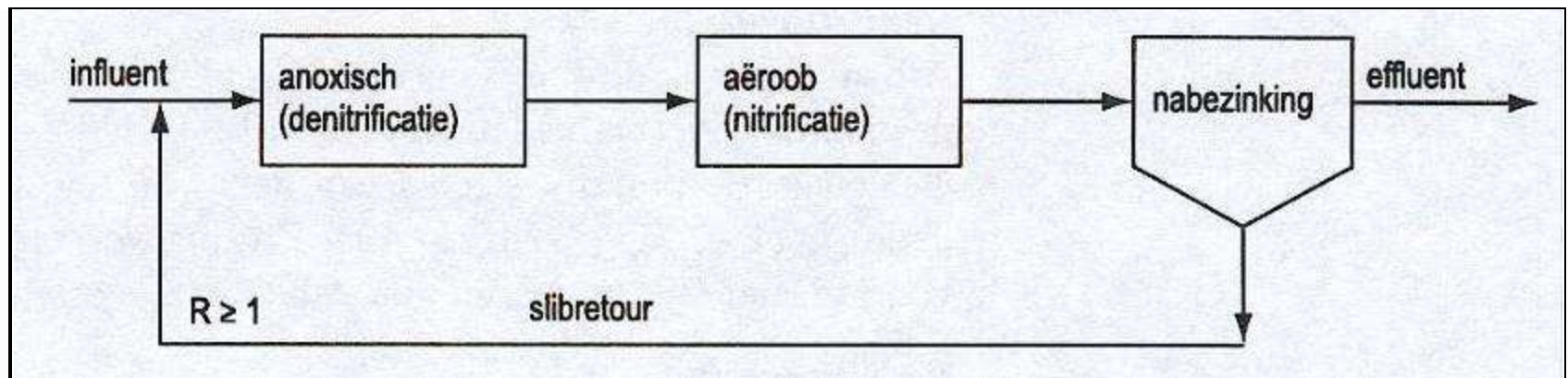
## Optimalisatie biologie (2)

- Algemene sturingsparameters
  - pH
  - Temperatuur (in °C)
  - Hydraulische verblijftijd (in dagen)
  - Volumebelasting (in kg COD/m<sup>3</sup> reactor.dag)
  - Slibbelasting (in kg COD/kg VSS.dag)
  - Opgeloste zuurstof (in mg O<sub>2</sub>/l)
  - Slibleeftijd (in dagen)
  - Nutriëntenbalans (stikstof, fosfor, micronutriënten)
  - Bezinkbaarheid van actief slib
    - Geen draadvormers maar vlokvormers
    - Opvolging bezinkbare stoffen (in ml/l)
    - Opvolging droge stof concentratie (in g VSS/l)
    - Berekening slib-volume-index (in ml/g VSS)
    - Regelmatig microscopisch onderzoek uitvoeren



## Optimalisatie biologie (3)

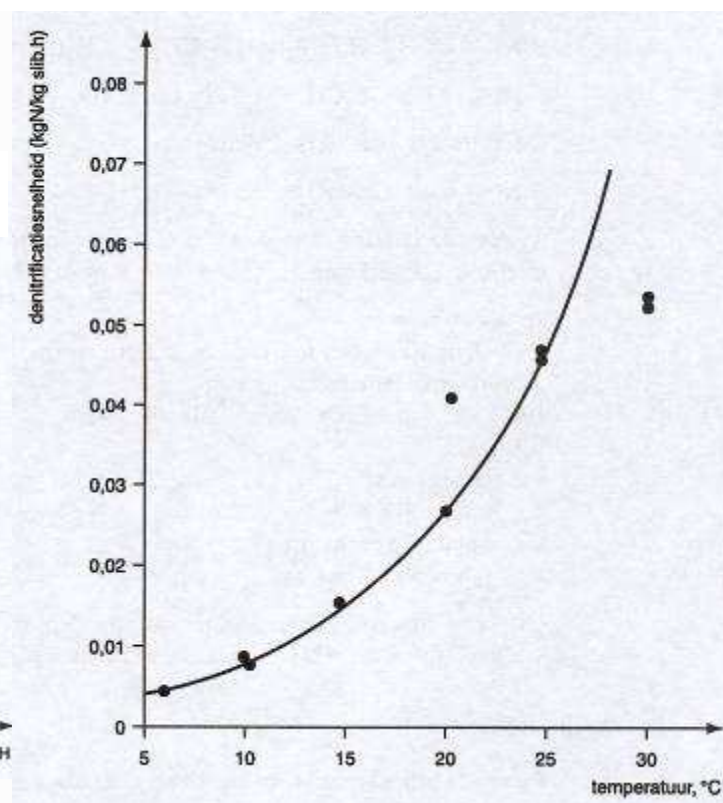
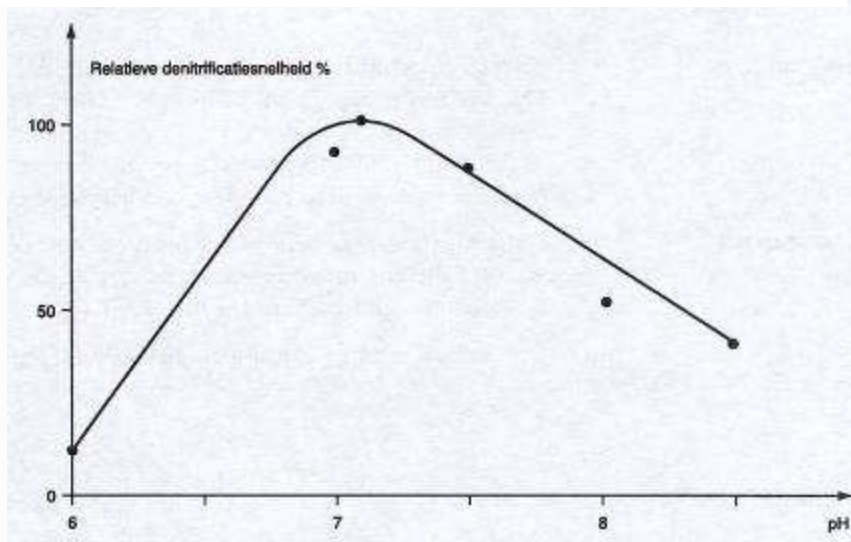
- Biologische stikstofverwijdering van nitrificatie en denitrificatie
  - Correcte dimensionering



- Procesomstandigheden nitrificatie en denitrificatie respecteren
- Belangrijkste invloedsfactoren zijn:
  - pH en temperatuur
  - Inhiberende stoffen
  - Opgeloste zuurstof
  - Voldoende gemakkelijk afbreekbare koolstofbron beschikbaar voor denitrificatie

## Optimalisatie biologie (4)

- Ter illustratie:  
Invloed van pH en temperatuur op denitrificatiesnelheid
  - pH-correctie uitvoeren?
  - Verwarming installeren?



## Optimalisatie biologie (5)



- Coagulantdosering: fysicochemisch neerslaan van overmaat aan fosfor en/of zware metalen
  - $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Na-aluminaat, PAC, polymeer, talk, ...
  - Uitvoering
    - Voorverwijdering (voorbezinktank)
    - Simultaan (in het actief slibstelsysteem)
    - Naverwijdering (in nabezinktank of op zandfilter)
  - Toepasbaarheid
    - Hoog rendement voor P en de meeste metalen (afhankelijk van pH)
    - Bijkomende slibproductie
    - Chemicaliënverbruik
    - pH-invloed
    - Opgeloste zouten
  - Bijkomende voordelen coagulantdosering
    - Positieve invloed op slibkarakteristieken biologie
    - Reductie gehalte zwevende stoffen met eveneens lagere concentraties BOD, COD, N en P tot gevolg (vaak gebonden aan zwevende stoffen)



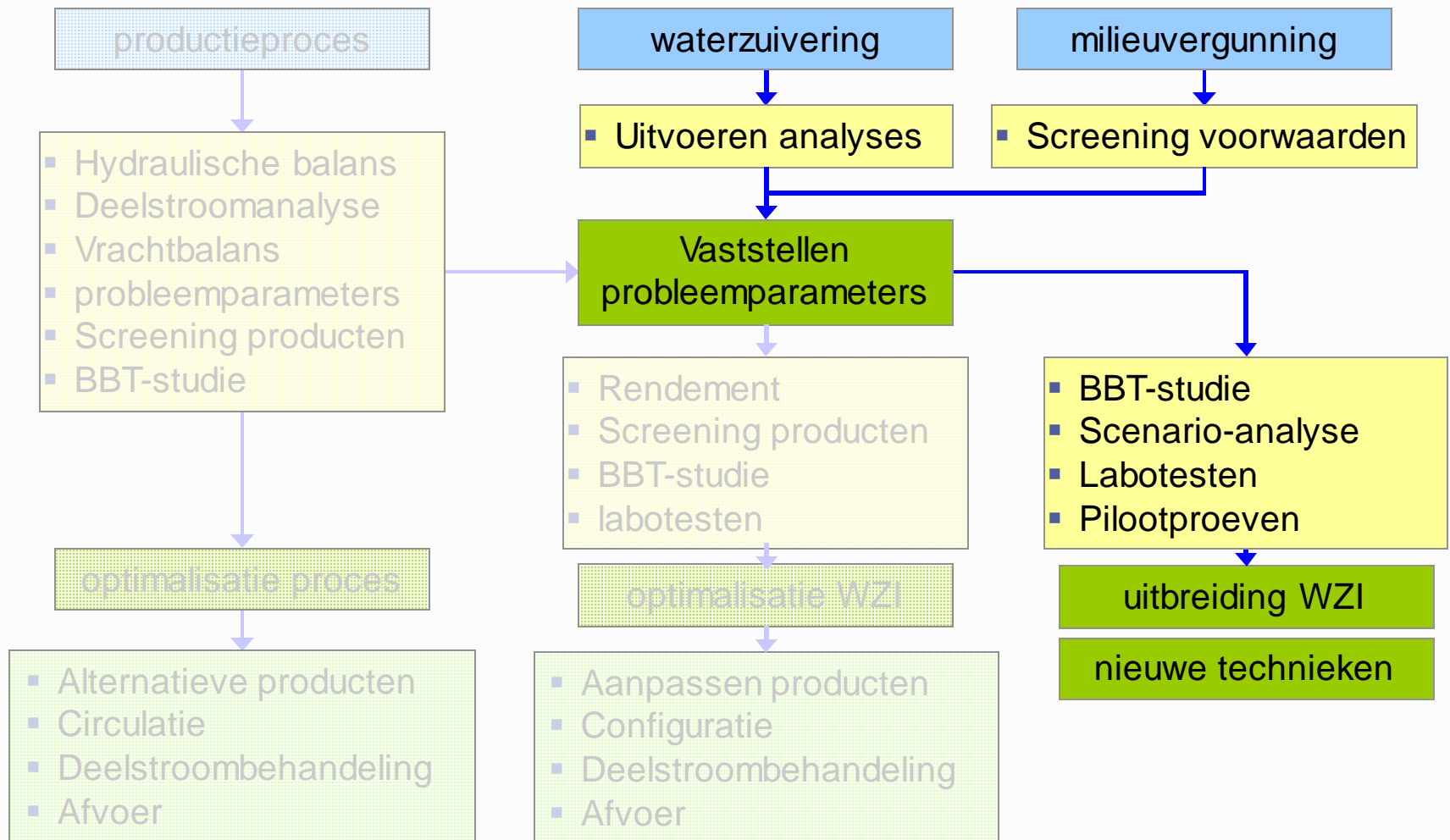
# Nageschakelde zuiveringstechnieken en deelstroombehandeling



- Zandfiltratie
- Actief koolfiltratie
- Selectieve ionenuitwisseling
- Membraantechnieken
  - Microfiltratie (MF)
  - Ultrafiltratie (UF)
  - Nanofiltratie (NF)
  - Omgekeerde osmose (RO)
  - Membraanbioreactor (MBR)
  - Electrodialyse (ED)
  - Diffusie-dialyse
- Geavanceerde oxidatieprocessen (AOP)
- Indamping

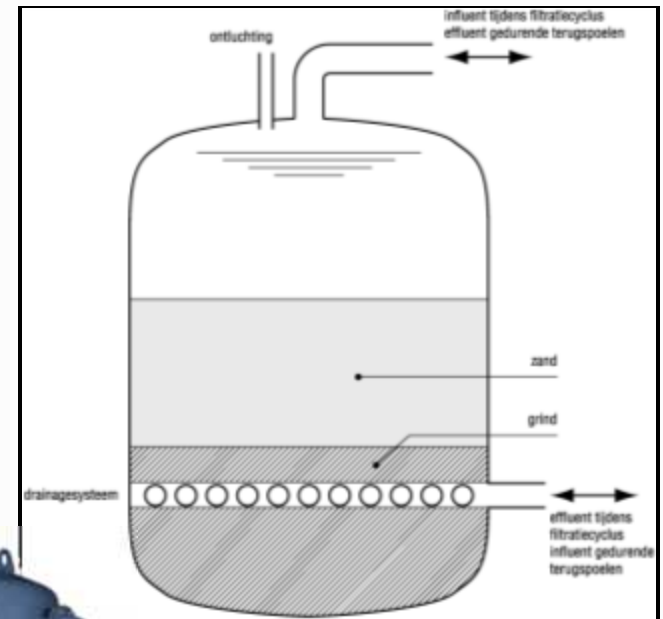
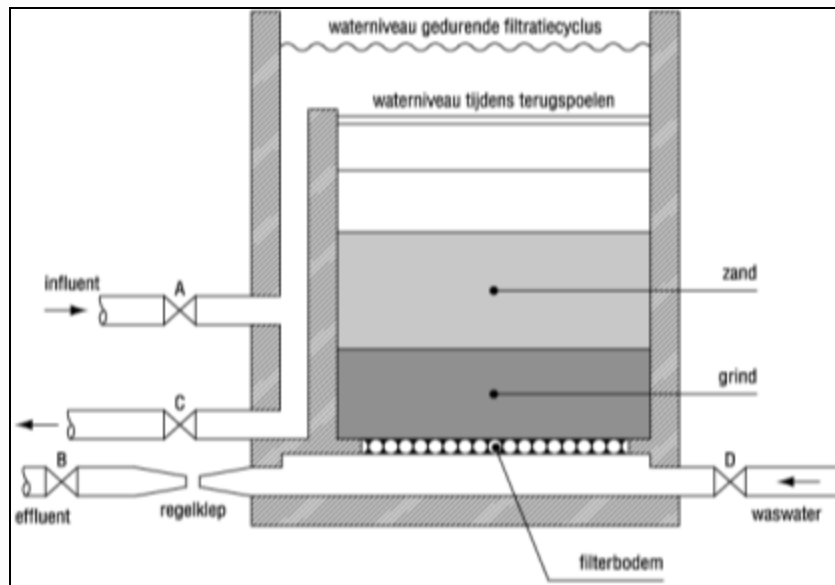
# Afvalwateraudit

## Verloop afvalwateraudit in functie van nieuwe technieken



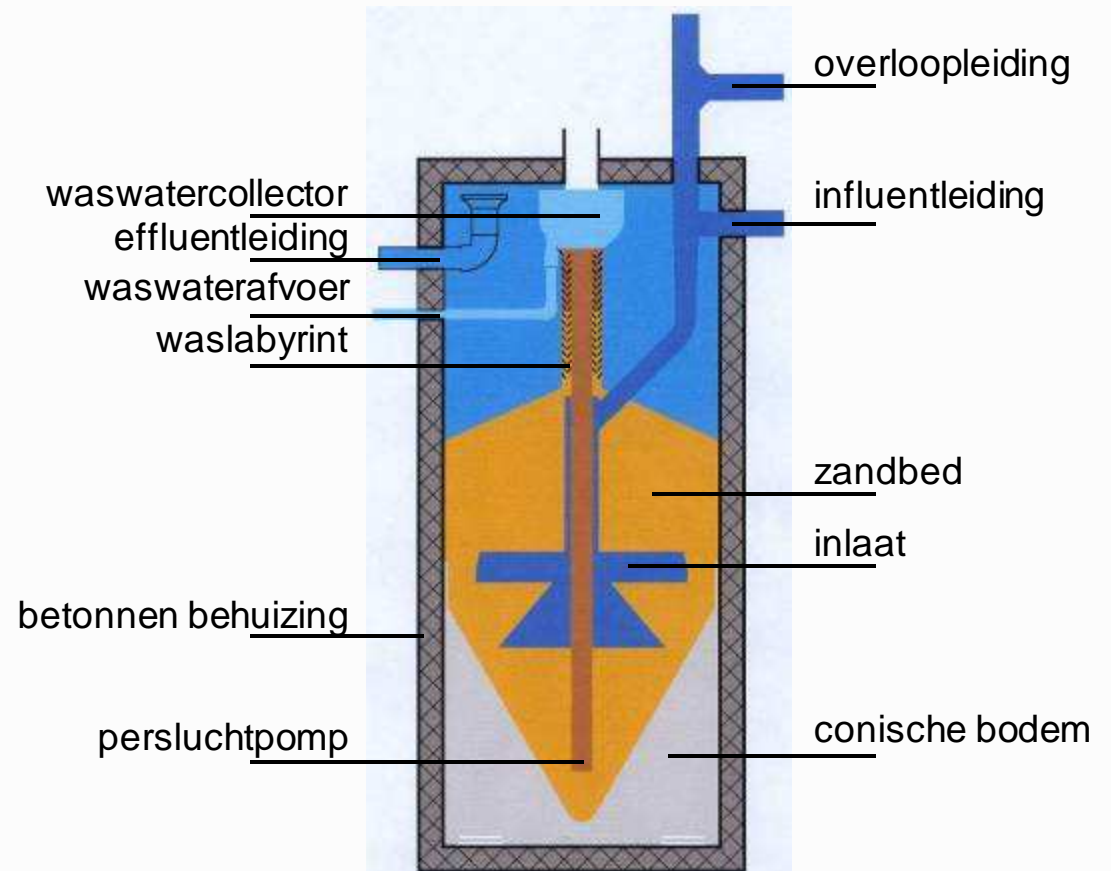
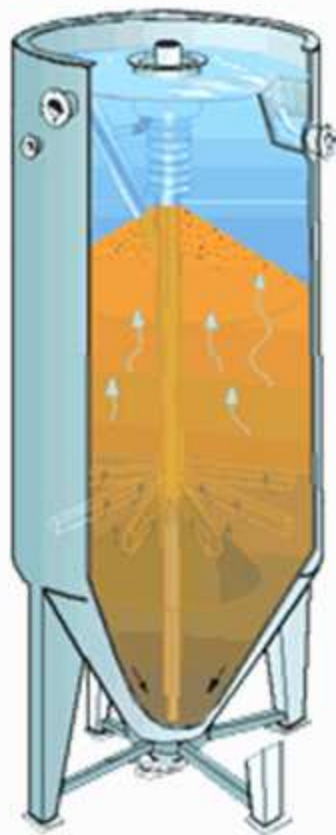
# Zandfiltratie (1)

- Discontinue zandfiltratie
  - Open zandfilter
    - Trage filter (2 m/u)
    - Snelle filter (10 m/u)
  - Gesloten zandfilter (onder druk)
  - Diverse media: zand, antraciet, graniet



## Zandfiltratie (2)

- Continue zelfreinigende zandfilter (type DynaSand)



## Zandfiltratie (3)

- Toepasbaarheid:
  - Effluent fysicochemie of biologie met zwevende stoffen tot grootteorde 100 mg/l
  - Deeltjesafscheiding tot < 20  $\mu\text{m}$
  - Dosering coagulant mogelijk (in beperkte mate)
  - Discontinu zandfilter
    - Periodieke regeneratie (terugspoelen) noodzakelijk
    - Spoelwater kan piekbelasting zijn voor nabezinker, bijgevolg bij voorkeur apart te behandelen
  - Continu zandfilter
    - Continu relatief groot volume spoelwater (5 à 10% van influentdebiet)
    - Waswater eventueel recirculeren via lamellenseparator
    - Gravitaire voeding (zonder pomp) mogelijk
- Bereikbare effluentconcentratie:
  - Zwevende stoffen < 5 mg/l (norm voor lozing in oppervlaktewater meestal 60 mg/l)

## Actief koolfiltratie

- Adsorptie van organische moleculen aan geactiveerde kool
- Diverse uitvoeringsmogelijkheden en types
- Toepasbaarheid
  - 0,2 kg COD per kg actief kool: dus voor lage vrachten
  - Selectiviteit
  - Zeer lage restconcentratie
  - Zwevende deeltjes in voedingswater vermijden (eventueel voorafgaandelijke zandfiltratie)
  - Doorslag bij verzadiging
  - Afvoer en externe thermische regeneratie

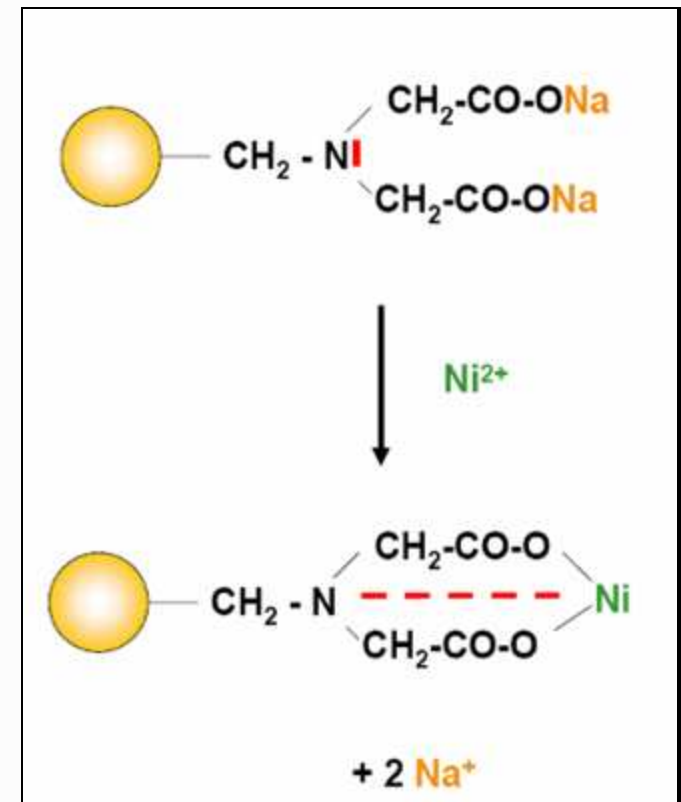


# Ionenuitwisseling (1)

- Binding van ionen aan hars
  - Te verwijderen ionen uitgewisseld met ionen aanwezig op hars
  - Meestal  $H^+$ -ionen op kationhars en  $OH^-$ -ionen op anionhars
- Toepassingen:
  - Productie van gedemineraliseerd water
  - Eindzuivering van effluent (bv. na fysicochemische zuivering)
  - Behandeling specifieke afvalwaterdeelstromen
    - Verwijdering van nitraat (uitwisseling met chloride)
    - Verwijdering van ammonium (uitwisseling met natrium)
  - Zuivering en recycling van spoelwater
    - Beits- en etsprocessen
    - IJzerfosfatatie
    - Passivatie (chromhoudend of chromvrij)
  - Terugwinning van grondstoffen
    - Zilver uit spoelwater in grafische sector
    - Chroomzuur uit spoelwater in oppervlaktebehandeling van metalen

## Ionenuitwisseling (2)

- Selectieve ionenwisselaars
  - Uitwisseling  $H^+$  of  $Na^+$ -ionen voor zware metaalionen
- Voorbeeld: metaalverwijdering via een IDA-hars
  - Zwak zuur macroporeus kationhars
  - Chelaterende iminodiacetaatgroepen
  - Divalente kationen worden op het hars gebonden en uitgewisseld met natriumionen
  - In volgorde van selectiviteit: o.a. Cu, V, Pb, Ni, Zn, Cd, Fe, Mn
  - Regeneratie met HCl en NaOH
  - Eventueel afvoer verzadigd hars naar erkend verwerker



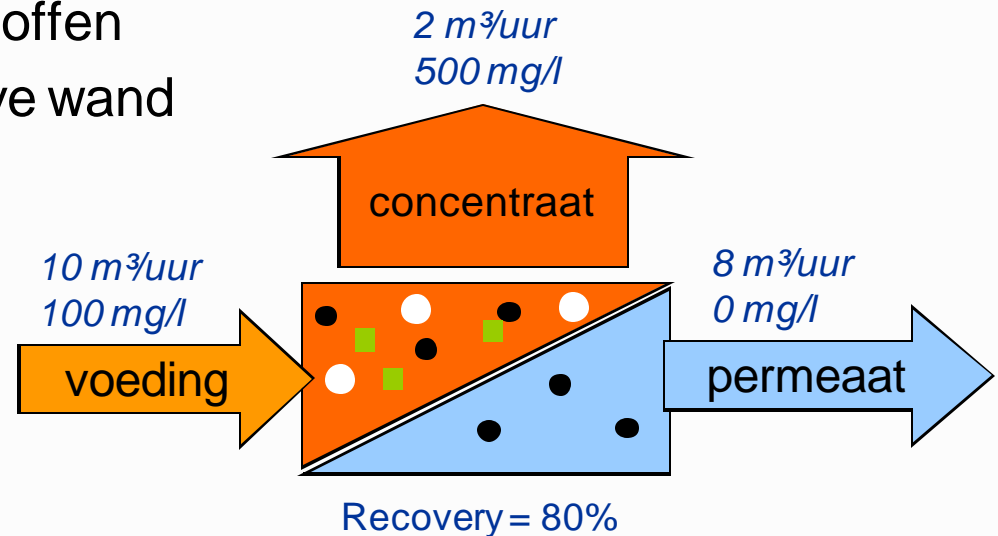


## Ionenuitwisseling (3)

- Toepasbaarheid
  - Zevende deeltjes in toevoer bij voorkeur < 0,5 mg/l
    - Om verstopping van de macroporeuze openingen te vermijden
    - Voorfiltratie meestal noodzakelijk (bv. via zandfiltratie)
  - Gevoelig voor oxiderende producten
  - Selectiviteit: specifiek hars voor probleempareters
  - Specifieke harscapaciteit: bv. 30 g metaal / liter hars
  - pH-afhankelijk (eventueel voorgaande neutralisatie/aanzuring vereist of gewenst om harscapaciteit optimaal te benutten)
  - Periodieke regeneratie met chemicaliën
  - Wat met concentraatstroom?
  - Doorslag bij verzadiging dikwijls enkel vast te stellen door specifieke analyse
- Bereikbare effluentconcentratie afhankelijk van parameters en toepassing
  - < 0,1 mg/l - < 0,001 mg/l

# Membraantechnieken

- Opconcentratie van stoffen
- Membraan = selectieve wand

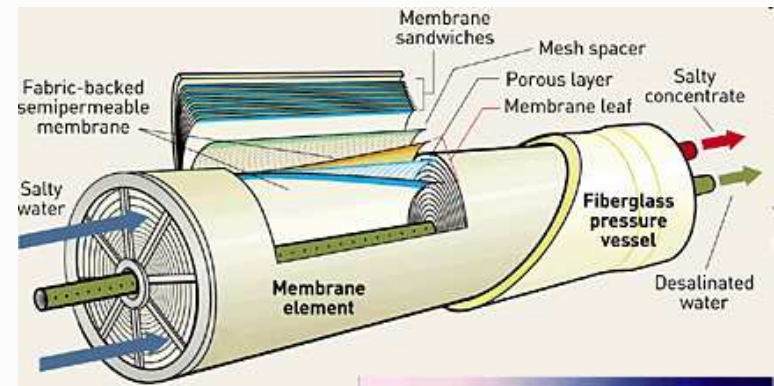
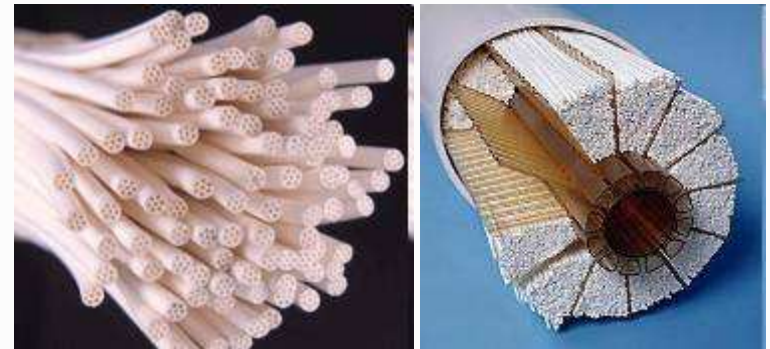


- Overzicht technieken:

Membraanproces	Drijvende kracht
MF, UF, NF, RO	Druk
Elektrodialyse	Elektrische potentiaal
Membraanelektrolyse	Elektrische potentiaal
Diffusie-dialyse	Concentratie

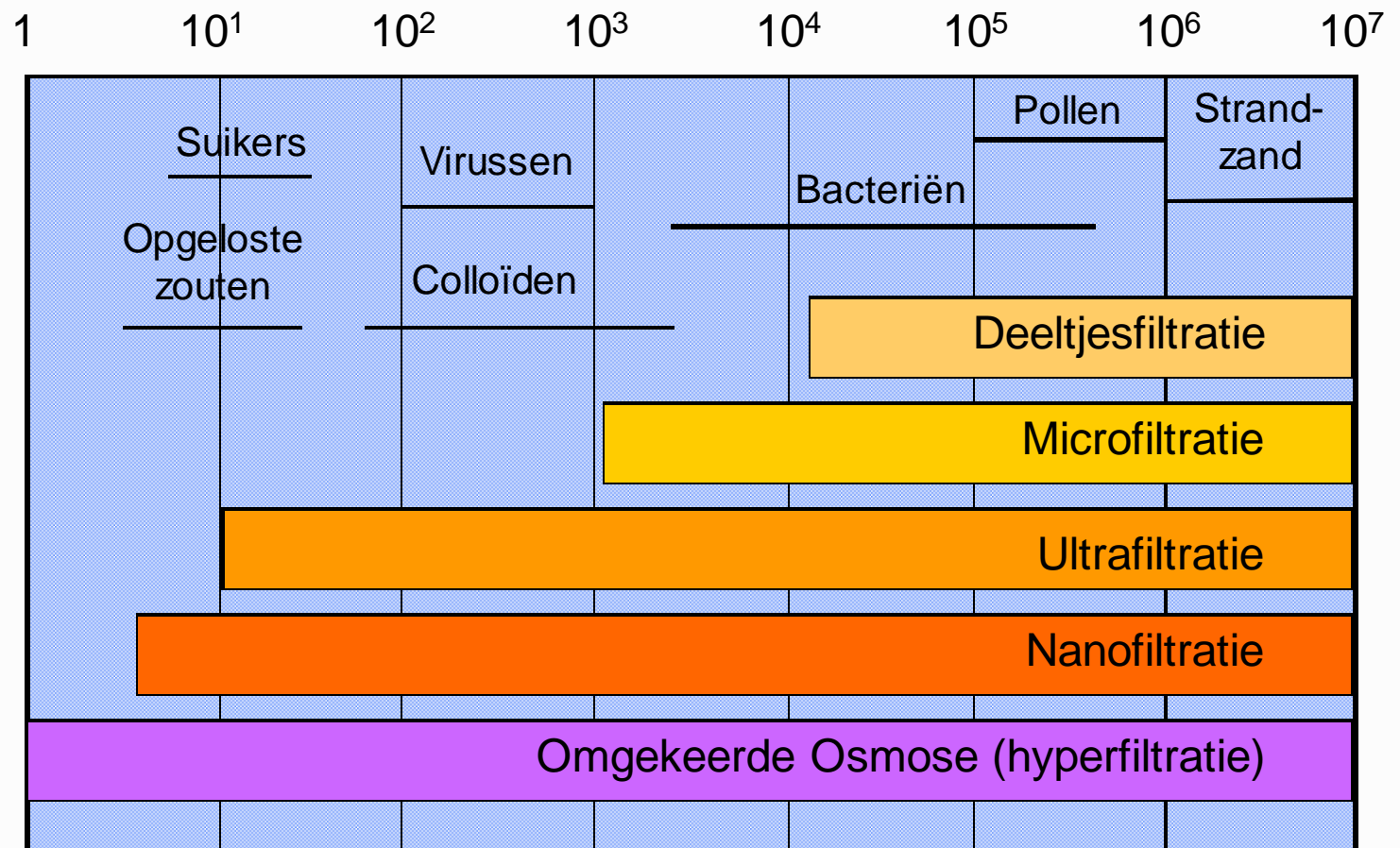
# Membranen

- Divers en uitgebreid aanbod
  - Membranen
    - Materialen
    - Structuren
  - Modules
    - Buismodules
    - Capillaire modules
    - Holle vezelmodules
    - Vlakke platen
    - Spiraalgewonden
    - Extern - ondergedompeld
  - Bedrijfsvoering filtratie
    - Dead-end, crossflow
    - In/out - out/in
    - Reinigingstechnieken
  - Drijvende kracht
    - Verschil in druk, elektrische potentiaal, concentratie



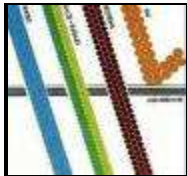
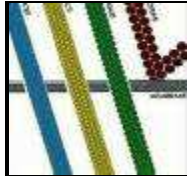
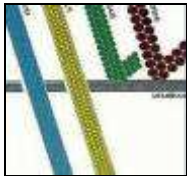
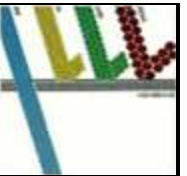
# Filtratiespectrum

- Angstrom (Å) =  $10^{-4}$  μm (0,1 nm)



# MF, UF, NF en RO (1)

- Microfiltratie, Ultrafiltratie, Nanofiltratie en Omgekeerde osmose

	MF	UF	NF	RO
Filtratie van	Deeltjes	Hoogmoleculaire verbindingen	Laagmoleculaire verbindingen	Ionen
zoals	Vezels, zwevende stoffen	Colloïden, pigmenten, enzymen, bacteriën	Meerwaardige ionen,	Zouten, virussen
				
in bv.	Prefiltratie UF, NF en RO, vezelverwijdering uit pulpwaswater	Klaren en steriel filtreren wijn en bier, opconcentreren verf, MBR	Ontharding, verwijdering van sulfaat, fosfor, COD, kleurstoffen	Productie van gedemineraliseerd water, ontzouting, reiniging spoelwater
Druk	0,1 - 2 bar	1 - 5 bar	5 - 20 bar	10 - 100 bar
Poriën	0,05 - 10 µm	0,001 - 0,05 µm	0,001 µm	niet poreus
Flux	> 50 l/m <sup>2</sup> .u.bar	10 - 50 l/m <sup>2</sup> .u.bar	1 - 15 l/m <sup>2</sup> .u.bar	0,05 - 1,5 l/m <sup>2</sup> .u.bar

## MF, UF, NF en RO (2)

- Toepasbaarheid:
  - Specifiek en selectief
  - Cross-flow: hoge energiekost
  - Dead-end: hoge productkost
  - Fouling, bio-fouling
    - Voldoende voorfiltratie
    - Dosering desinfectiemiddel
  - Scaling
    - Voorbehandeling (ontharden voor RO, olieverwijdering, ...)
    - Dosering anti-scaling product
  - Haalbaarheidsanalyse
  - Labo- en piloottesten aangewezen



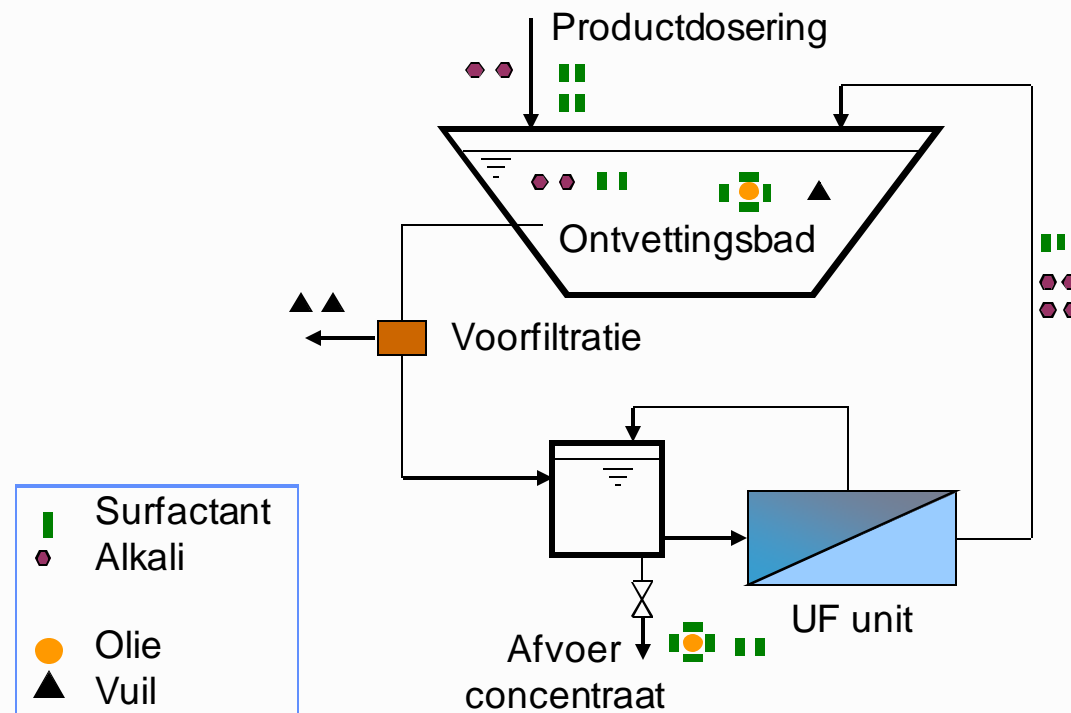
# Microfiltratie

- Diverse uitvoeringsmogelijkheden
  - Zakkenfilter, kaarsenfilter, (druk)bandfilter, papierfilter
- Toepasbaarheid
  - Zevende stoffen
  - Deeltjesafscheiding tot  $< 1 \mu\text{m}$
  - Olieafscheiding
  - Vervuilde filtermedia = afval
- Bereikbare effluentconcentratie SS:  $< 1 \text{ mg/l}$



# Kringloopsluiting via ultrafiltratie

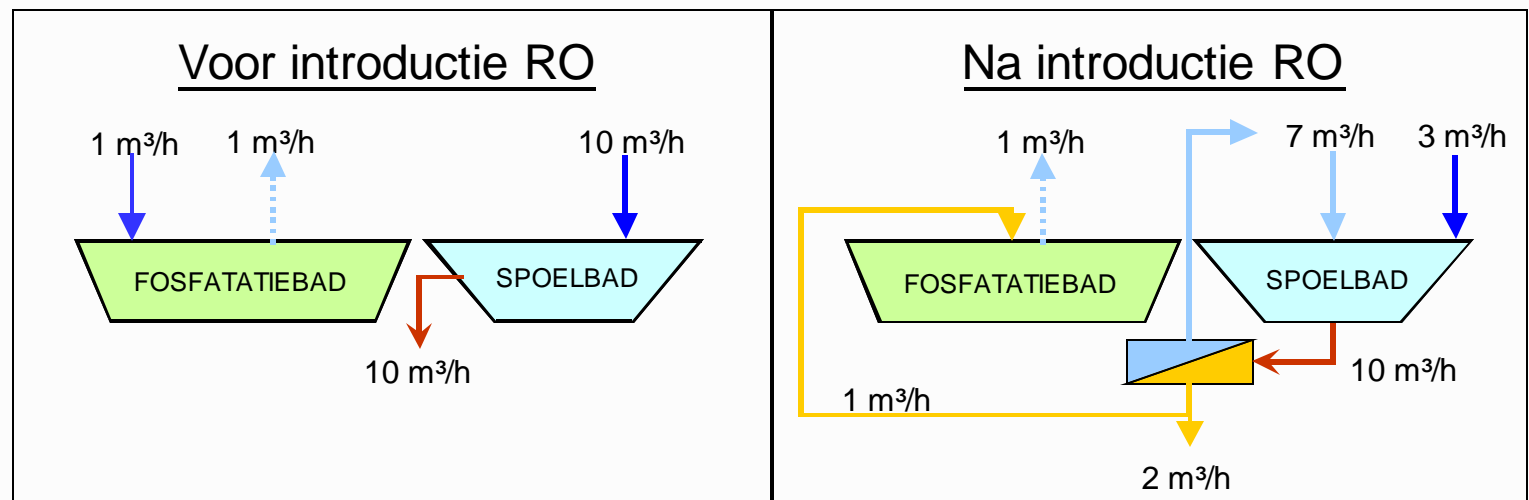
- Toepassing van UF bij standtijdverlenging ontvettingsbaden
  - Ontvettingsbad dient regelmatig te worden gedumpt door ophoping van vuil en olie (piekbelasting voor afvalwaterzuivering)
  - Omschakeling naar “never dump” via ultrafiltratie op ontvettingsbad
    - Hergebruik water én kostbare grondstoffen via permeaatretour
    - Continue verwijdering olie via afvoer concentraat (extern verwerker)





## Kringloopsluiting via omgekeerde osmose

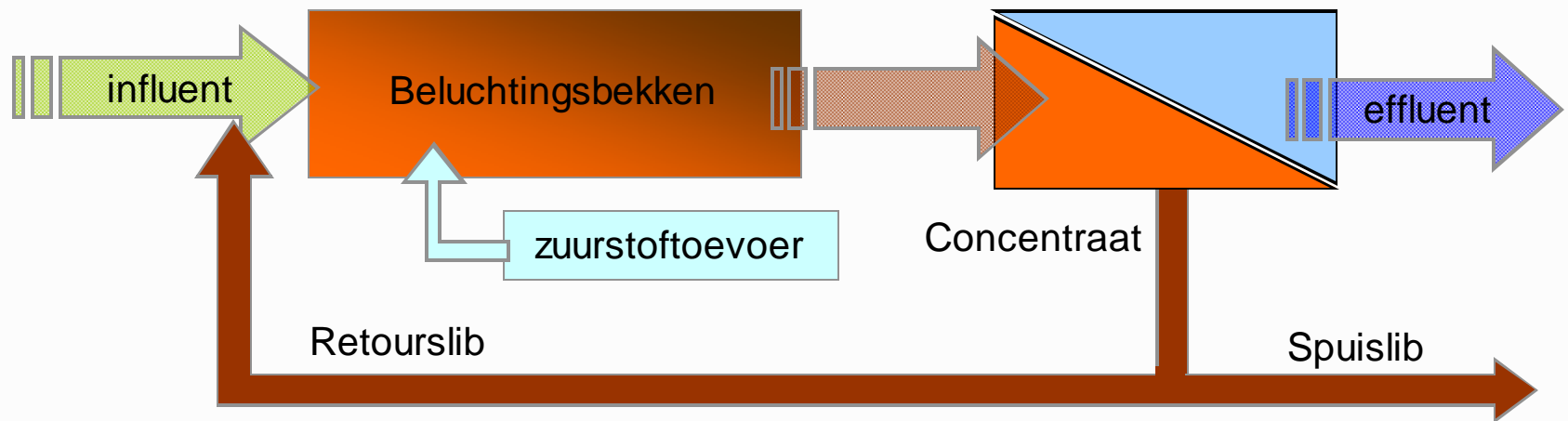
- Toepassing van RO bij fosfatatieproces oppervlaktebehandeling
  - Spoelwater bevat fosfaten, nitraten, fluoriden en zware metalen (Ni, Zn, Mn) in gedemineraliseerd water
  - Permeaat wordt getourneerd naar spoelzone
  - Retentaat wordt gerecycleerd naar fosfatatiebad



	Zonder RO	Met RO	Verskil
Waterverbruik	11 m <sup>3</sup> /h	3 m <sup>3</sup> /h	8 m <sup>3</sup> /h
Afvalwaterproductie	10 m <sup>3</sup> /h	2 m <sup>3</sup> /h	8 m <sup>3</sup> /h

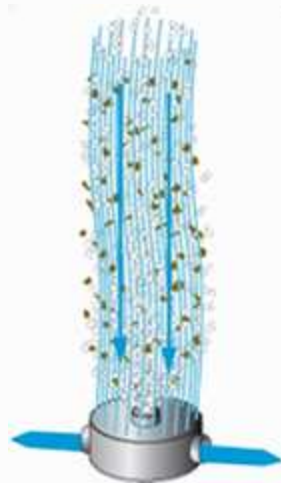
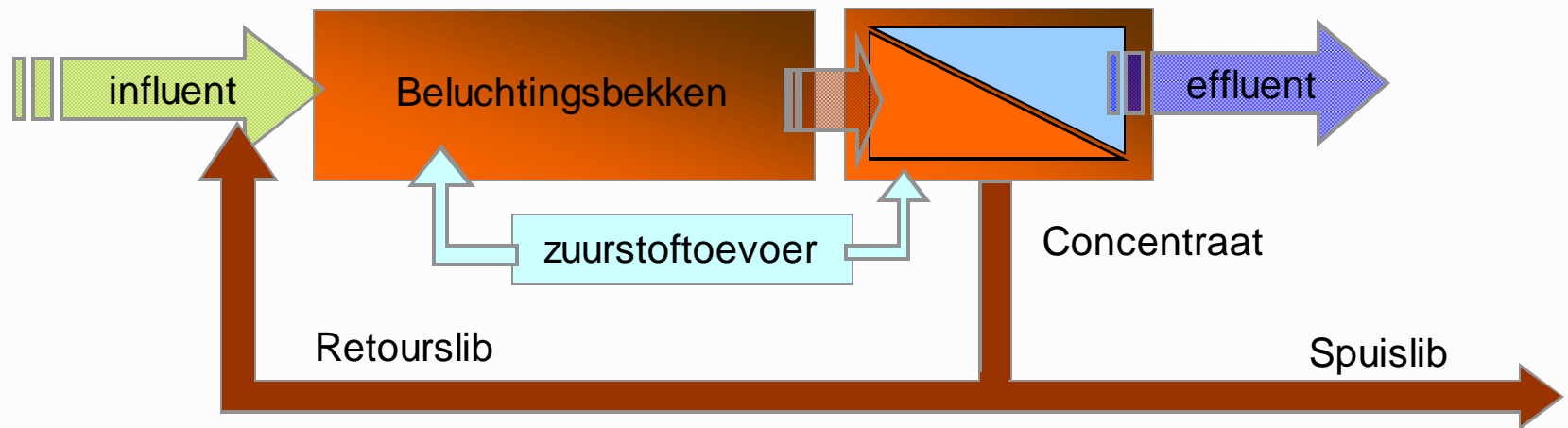
# Membraanbioreactor (1)

- MBR: Actief slib met externe UF



## Membraanbioreactor (2)

- MBR: Actief slib met interne of ondergedompelde UF



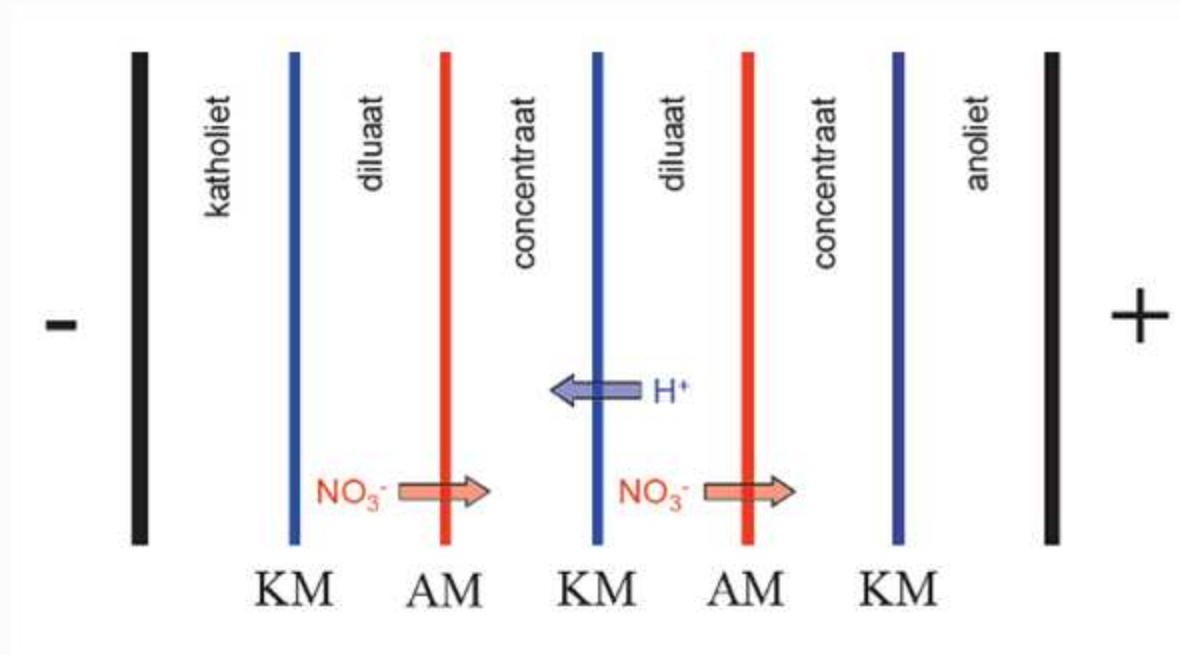
## Membraanbioreactor (3)

- Toepasbaarheid
  - Klein ruimtebeslag (zeer compact) en modulair
  - Slibproductie beperkt
  - Uitstekende effluentkwaliteit
  - Membraanvervuiling (voorbehandeling vereist)
  - Hoge membraan- en energiekosten

Kenmerk	Extern	Intern
Scheiding slib	Buiten bioreactor	In bioreactor
Type filtratie	Inside - out	Outside - in
Membraantype	Tubulaire en vlakke platen Holle vezel in behuizing	Holle vezel en vlakke platen In een frame
Transmembraandruk (TMP)	0,3 - 1,0 bar	0,2 - 0,5 bar
Flux	100 l/m <sup>2</sup> .u	20 l/m <sup>2</sup> .u
Crossflow	1 - 3 m/s	0,5 m/s
Maximum droge stof (VSS)	30 g/l	20 g/l
Energieverbruik	2 - 5 kWh/m <sup>3</sup>	0,2 - 0,5 kWh/m <sup>3</sup>

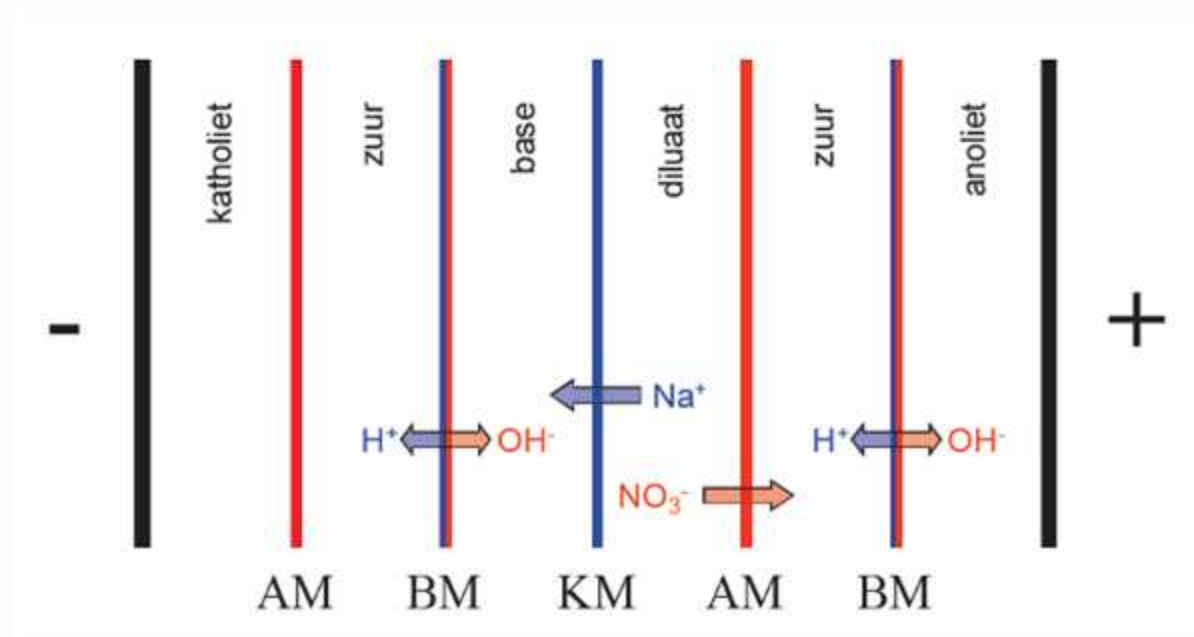
## Elektrodialyse (1)

- Scheiden van geladen deeltjes (ionen)
- Drijvende kracht = elektrisch potentiaalverschil
- Anionen (-) migreren naar anode en kationen (+) naar kathode
- Ionogeen membraan tussen elektroden
  - Kationuitwisselend membraan (-) laat kationen door en houdt anionen tegen
  - Anionuitwisselend membraan (+) laat anionen door en houdt kationen tegen
- Scheiding in ionarme stroom (diluaat) en ionrijke stroom (concentraat)



## Elektrodialyse (2)

- Bipolaire membranen
  - Bestaan zowel uit een kation- en een anionuitwisselend membraan
  - Toegepast om waterstofionen ( $H^+$ ) en hydroxide-ionen ( $OH^-$ ) te genereren

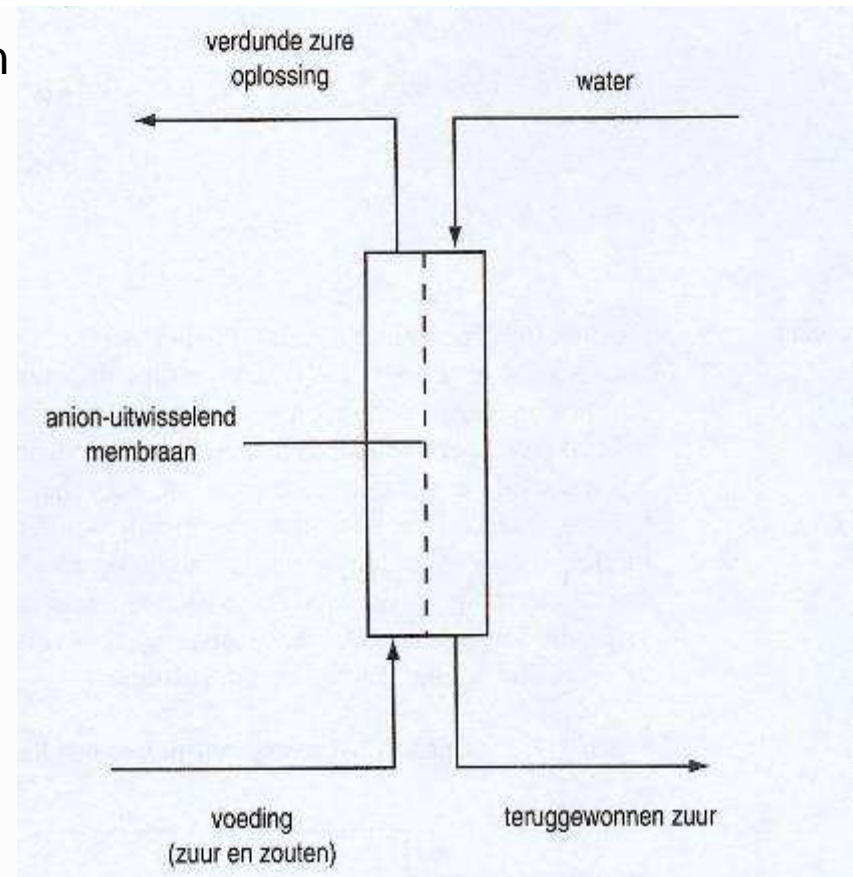


## Elektrodialyse (3)

- Bepaalde componenten kunnen werking verstoren
  - Gesuspendeerde stoffen > 10  $\mu\text{m}$  kunnen poriën verstoppen
  - Organische anionen, colloïdaal materiaal, ijzer- en mangaanoxide kunnen membranen neutraliseren
- Veelal een voorbehandeling vereist
  - Filtratie voor eliminatie van zwevende stoffen
  - Actief kool behandeling voor verwijdering organisch materiaal
  - Flocculatie voor verwijderen van colloïdale deeltjes
- Toepassing van elektrodialyse: deelstroombehandeling
  - Zouten verwijderen of concentreren
  - Recuperatie van zuren en basen uit beitsbaden
  - Terugwinning van metaalzouten en neutralisatievloeistoffen

## Diffusie-dialyse

- Drijvende kracht = concentratieverschil
- Toepassing: terugwinning van zuren en basen uit afvalwaterstromen met zouten
- Afhankelijk van toepassing worden kation- of anionuitwisselende membranen gebruikt
- Zuur of base worden doorgelaten en het zout niet
- Techniek wordt vaak toegepast voor het zuiveren van beitsbaden voor recuperatie van ondermeer:
  - Zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
  - Salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ )
  - Zoutzuur ( $\text{HCl}$ )
  - Fluorwaterstofzuur ( $\text{HF}$ )
  - Chroomzuur ( $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
  - ...





## Geavanceerde oxidatieprocessen (1)

- Gericht op de vorming van hydroxylradicalen ( $\text{*OH}$ ) in water:
  - Niet selectieve en zeer krachtige oxidantia
  - Afbraak van bijna alle organische contaminanten in water tot zeer lage concentraties
  - Vernietiging van specifieke en moeilijk biologisch afbreekbare organische componenten
  
- Oxidatiesnelheid afhankelijk van:
  - Radicaalconcentratie
    - Afhankelijk van pH, temperatuur, aanwezig van bepaalde ionen
  - Zuurstofconcentratie
  - Polluentconcentratie
  
- Afhankelijk van feit of gebruik wordt gemaakt van UV, wordt een onderscheid gemaakt tussen:
  - Fotochemische AOP-processen
  - Niet-fotochemische AOP-processen

## Geavanceerde oxidatieprocessen (2)

### ■ Niet-fotochemische AOP-processen

- Ozonisatie bij hoge pH-waarde (pH > 8,5)  

$$3 \text{O}_3 + \text{OH}^- + \text{H}^+ \rightarrow 2 \cdot\text{OH} + 4 \text{O}_2$$
- $\text{H}_2\text{O}_2$  in combinatie met  $\text{O}_3$  (Peroxon proces)  

$$2 \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot\text{OH} + 3 \text{O}_2$$
- $\text{O}_3$  + katalysator (bv.  $\text{Mn}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ )
- $\text{H}_2\text{O}_2$  in combinatie met  $\text{Fe}^{2+}$  (Fenton proces)  

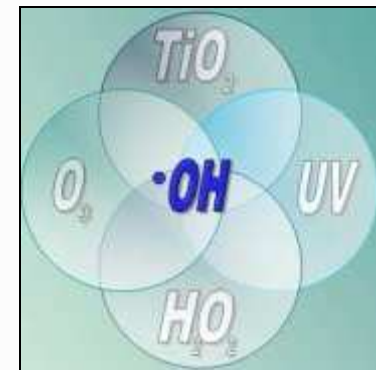
$$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{OH}^- + \text{Fe}^{3+}$$
- Ultrasonische technieken

### ■ Fotochemische AOP-processen

- $\text{O}_3$  in combinatie met UV-straling  

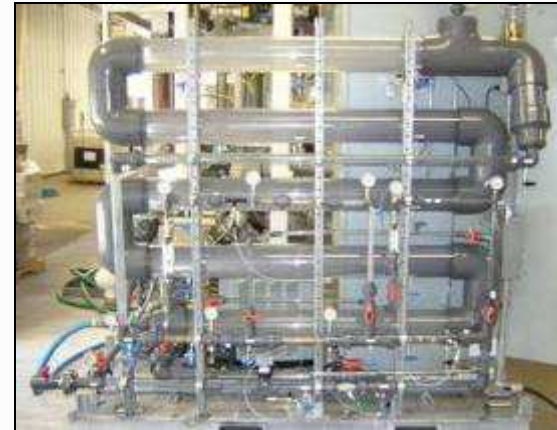
$$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow 2 \cdot\text{OH}$$
- $\text{H}_2\text{O}_2$  in combinatie met UV-straling  

$$\text{H}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2 \cdot\text{OH}$$
- $\text{O}_3$  en  $\text{H}_2\text{O}_2$  in combinatie met UV-straling
- Fotokatalytische oxidatie (UV met o.a.  $\text{TiO}_2$ )



## Geavanceerde oxidatieprocessen (3)

- Toepasbaarheid:
  - Drinkwaterproductie
    - Alternatief voor chlorering (verwijdering geur en smaak)
    - Vermijden desinfectiebijproducten (DBP)
  - Afvalwaterzuivering
    - Verwijdering van recalcitrante verbindingen en micropoluenten (hormonen, farmaceutica, pesticiden, organochloorverbindingen,...)
    - AOP vóór biologie verhoogt biodegradeerbaarheid (bv. chemie)
    - AOP na biologie reduceert COD effluent (bv. stortplaatsen)
    - Ontkleuring (bv. effluent zuivering textiel)



# Geavanceerde oxidatieprocessen (4)



- Voorbeelden verwijdering (cf.ITT)

Application	Contaminants	O <sub>3</sub>	UV	O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	UV +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + UV
Industrial Chemicals	1,4-Dioxane	0	0	++	+	++
	MTBE	0	0	++	0	++
	NDMA	0	+	+	++	++
Pesticides	Atrazine	+	0	++	+	++
	Bromacil	++	0	++	++	++
Pharmaceuticals	Diclofenac	++	+	++	++	++
	Carbamazepine	++	0	++	+	++
	Ibuprofen	+	0	++	+	++
	Amidotrizoic Acid	+	+	+	++	++
	Iohexol	+	+	++	++	++
	Hormones	++	0	++	+	++
Taste & Odor	Geosmin	++	0	++	+	++
	MIB	++	0	++	+	++
Decolorization		++	0	++	0	++
TOC Removal		0	0	+	0	+
Disinfection		+	++	+	++	++

++ = Removal of 81 - 100%

+ = Removal of 51 - 80%

0 = Removal less than 50%

# Indamping (1)

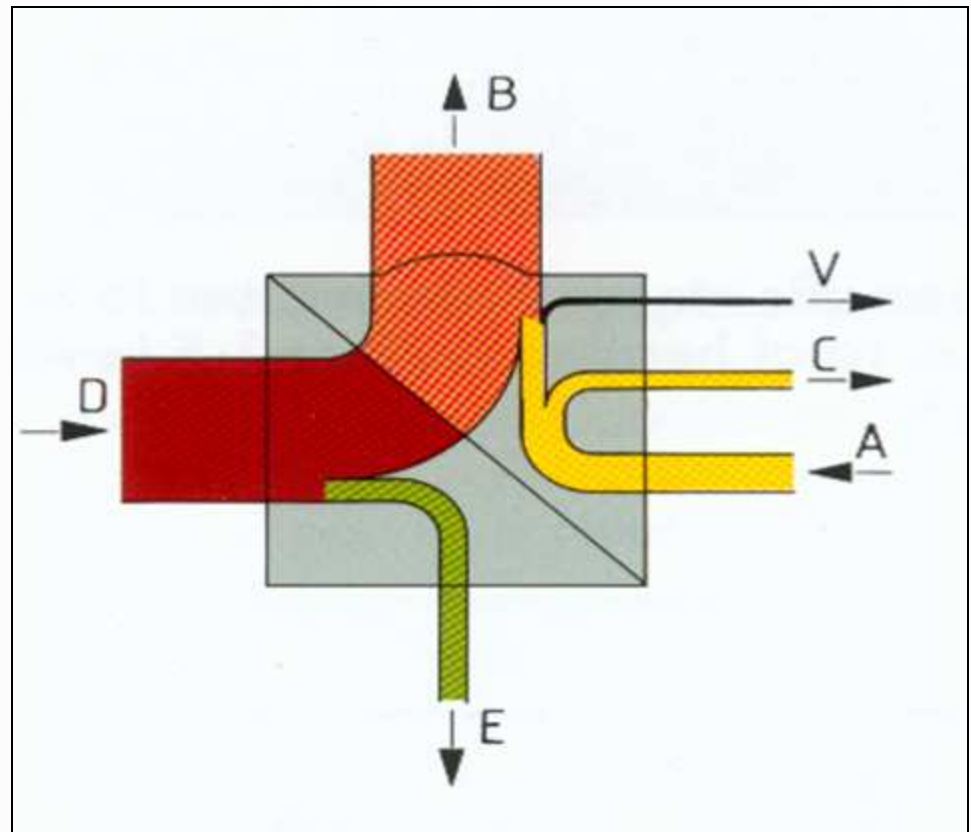
- Vacuümindamper
  - Valstroomverdamp(er)
- 1: influent
  - 2: warmtewisselaar
  - 3: verdamp(er)
  - 4: mechanische zelfreiniging
  - 5: separator
  - 6: vacuümpomp
  - 7: snelle opwarming
  - 8: reiniging
  - 9: destillaat
  - 10: concentraat



## Indamping (2)

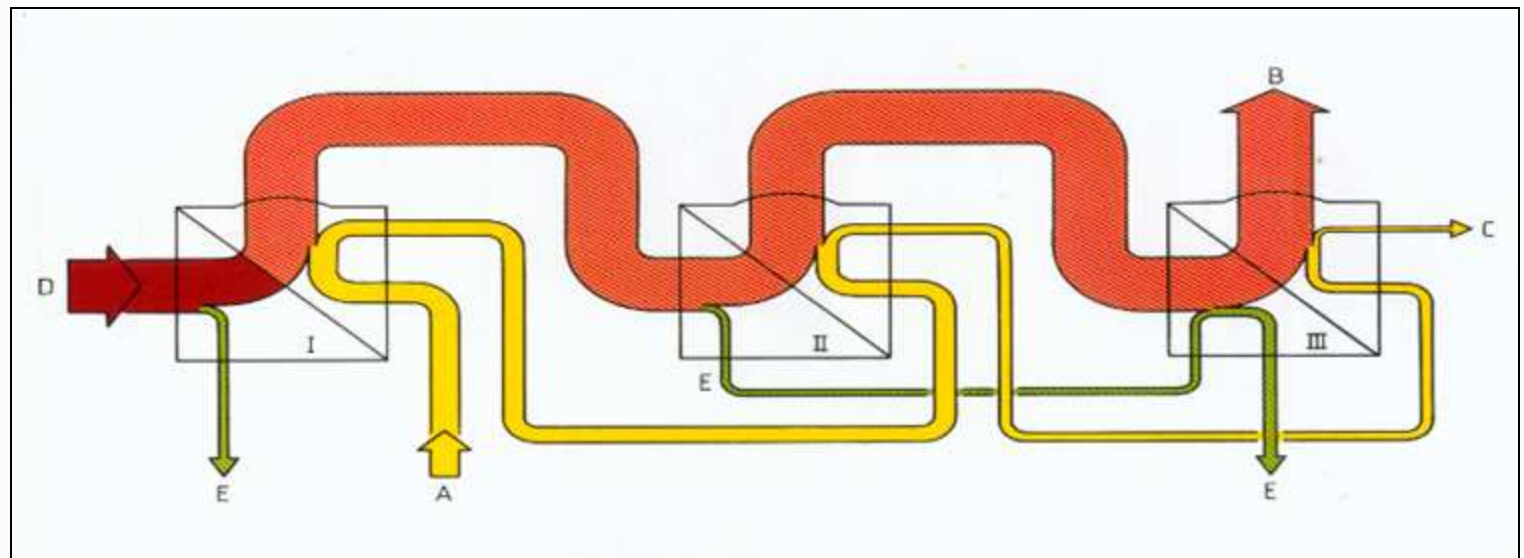
- Zonder energierecuperatie:

A: afvalwater  
B: damp  
C: concentraat  
D: stoom  
E: condensaat  
V: warmteverlies



## Indamping (3)

- Meertrapsindamping (bv. in drie trappen):



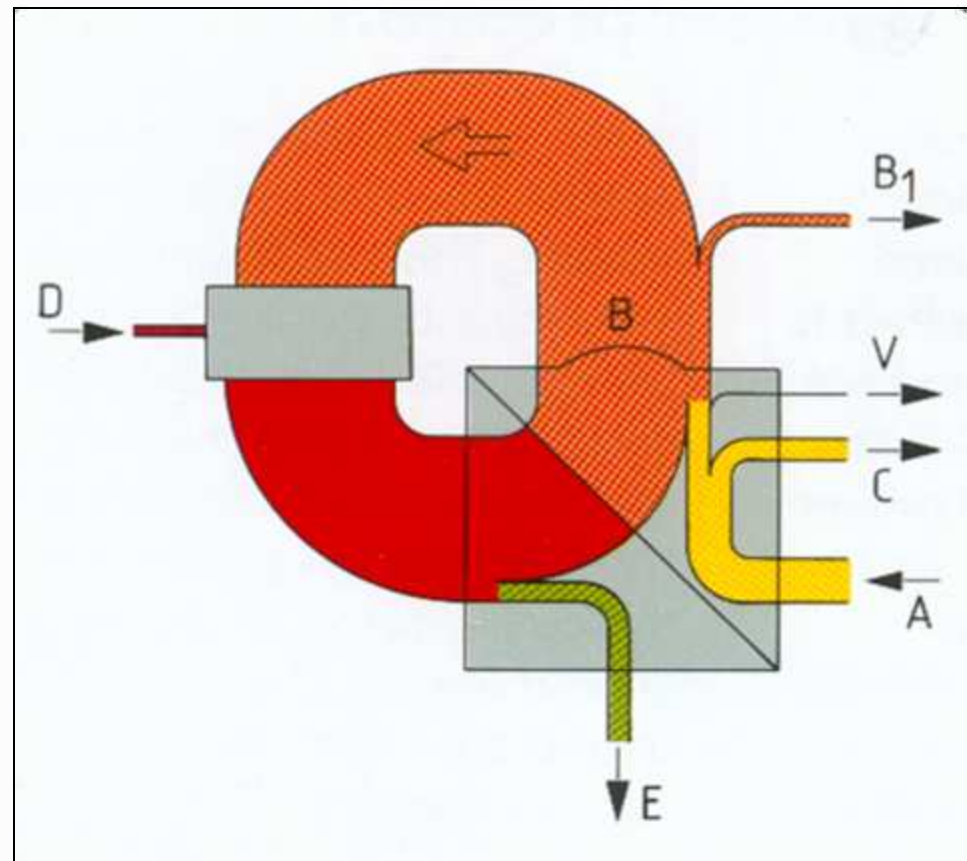
A: afvalwater  
B: damp  
C: concentraat

D: externe energie (stoom)  
E: condensaat

## Indamping (4)

- Mechanische damprecompressie (MDR):

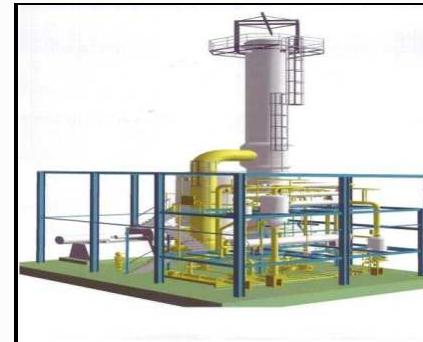
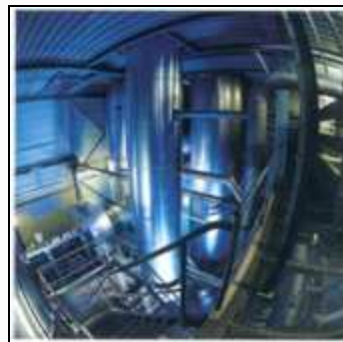
- A: afvalwater
- B: damp
- C: concentraat
- D: externe energie (recompressie)
- E: condensaat
- V: warmteverlies





## Indamping (5)

- Toepasbaarheid
  - Zeer zuiver effluent (mogelijkheid tot hergebruik)
  - Opletten voor vluchtige componenten (solventen, ammoniak, ...) en corrosieve verbindingen (chloriden)
  - Eventuele voorbehandeling influent (pH-correctie)
  - Schuimvorming kan zuiveringsrendement gevoelig doen dalen (eventueel anti-schuimmiddel doseren)
  - Eventuele nabehandeling effluent (KWS-afscheider)
  - Voldoende aandacht voor vervuiling van indamper en mogelijkheid tot chemische reiniging
  - Behandeling concentraatstroom (meestal afvoer erkend verwerker)



## Besluit

- Het opleggen van strengere lozingsvoorwaarden kan ertoe leiden dat er bijkomende inspanningen moeten worden geleverd om te kunnen voldoen aan nieuwe normen.
- Het reduceren van de effluentconcentraties gebeurt bij voorkeur aan de hand van een stappenplan, opgemaakt na de uitvoering van een afvalwateraudit.
- Daarbij kunnen achtereenvolgens de volgende aspecten worden bestudeerd:
  - Maximale bronbeperking door toepassen van BBT
  - Deelstroombehandeling en kringloopsluiting
  - Optimalisatie van bestaande zuiveringsinstallatie(s) door een goede opvolging en bedrijfsvoering
  - Implementeren van nageschakelde technieken, al dan niet gekoppeld aan hergebruik

## Vragen en discussie

