

De Black Box openen

**SAMENVATTING**

Stichting Duurzaam Storten

# Colofon

- Titel** : De Black Box openen  
Samenvatting Project Duurzaam Storten
- Datum** : 1 mei 2006
- Contact** : Stichting Duurzaam Storten,  
P/a Vereniging Afvalbedrijven  
Hugo de Grootlaan 39  
Postbus 2184  
5202 CD 's-HERTOGENBOSCH
- E-mail adres** : kok@verenigingafvalbedrijven.nl
- Auteur(s)** : R. A. Mathlener mathlener@avri.regiorivierenland.nl  
T. Heimovaara THE@GTBV.nl  
H. Oonk hans.oonk@tno.nl  
L. Luning luchien.luning@grontmij.nl  
H. A. van der Sloot vandersloot@ecm.nl  
A. van Zomeren vanzomeren@ecm.nl
- ISBN-nummer** : ISBN-10: 90-73573-29-7  
ISBN-13: 978-90-73573-29-1

# Inhoudsopgave

Colofon	2
Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doel van het project	5
1.3 Aanpak van het project	5
1.4 Belangrijkste uitkomsten van het project	6
1.5 Vergelijking Duurzame en reguliere stortplaats	7
1.6 Leeswijzer samenvatting	7
2. Juridisch Kader	9
2.1 Evaluatie duurzaam Storten en regelgeving	9
2.2 Acceptatie	10
2.3 Voorzieningen	10
3. Processen, componenten en sturing	11
3.1 Proces & Componenten	11
3.2 Processturing	12
3.3 Naar een integrale benadering	13
4. Database en modellering	15
4.1 Benadering van modelleren van stortplaatsprocessen	15
4.2 Modelleren van biochemische omzettingen	15
4.3 Fysisch chemische modellering	16
4.4 Modelleren van hydrologie	16
4.5 Data-interpretatie	17
5. Resultaten	19
5.1 Stortplaatsen voor overwegend organisch afval	19
5.2 Stortplaatsen voor overwegend anorganisch afval	20
5.3 Stortplaatsen voor gevaarlijk afval	21
5.4 De weg naar een duurzame stort	22

6. Conclusies	25
7. Nadere informatie	27

# 1. Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Dit is de samenvatting van het project Duurzaam Storten<sup>1</sup>. Met het project Duurzaam Storten wil de Stichting Duurzaam Storten<sup>2</sup> een bijdrage leveren aan een duurzame samenleving. Uitgangspunt van Duurzaam Storten is dat de huidige voorkeursvolgorde van Nederland en de EU geïmplementeerd wordt. Dit betekent dat allereerst preventie, hergebruik en verbranden geoptimaliseerd worden. Voor het afval dat vervolgens overblijft, wil Duurzaam Storten een noodzakelijke achtervang bieden die de milieu-effecten vermindert.

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op het doel van het project, de aanpak van het project en de belangrijkste resultaten.

## 1.2 Doel van het project

In navolging van de Bruntland Committee definitie van duurzaamheid streeft de Stichting Duurzaam Storten er naar om geen “storterfenis” achter te laten voor komende generaties. Concreet wordt gestreefd naar het verminderen van stortemissies. Hierbij gaat het niet alleen om de absolute omvang, maar ook om de belasting voor toekomstige generaties.

Doel van het project was initieel het vaststellen van de praktische haalbaarheid van een drietal duurzame stortconcepten voor specifieke situaties. Al snel bleek dat het mogelijk was om nog een stap verder te zetten omdat de analyses aantoonde dat de diverse concepten voldoende bouwstenen leverden voor een generiek duurzaam stortconcept.

Op grond hiervan is de volgende operationele doelstelling geformuleerd:

*Toon aan dat een stortconcept mogelijk is waarbij de emissies binnen 30 jaar verminderd worden tot een acceptabel niveau waarbij geen nadere maatregelen meer nodig zijn.*

## 1.3 Aanpak van het project

Het idee Duurzaam storten vloeide voort uit de prijsvraag “Opgeruimd staat netjes, *storten over de eeuwgrens*” (georganiseerd door een voorloper van de Vereniging Afvalbedrijven). De stichting Duurzaam storten (leden van VA) heeft in 2000 een consortium van adviseurs en specialisten opdracht gegeven om de haalbaarheid van Duurzaam Storten vast te stellen in vijf jaar. Het consortium van adviseurs dat in de loop der tijd bijgedragen heeft aan het project omvat onder andere de volgende bedrijven: ECN, TNO-MEP, Grontmij, Groundwater-Technology, GeoDelft, Royal Haskoning (v/h IWACO) en Advibe (vervangt ERM-NL).

---

<sup>1</sup> Deze samenvatting geeft een globale beschrijving van de aanpak en de resultaten van het totale project 1999-2005 en is gericht op de niet-wetenschappelijke doelgroep. Voor details wordt verwezen naar de andere project documenten.

<sup>2</sup> Stortsector NL met als trekkers: Vereniging Afvalbedrijven, NVAfvalzorg, Afvalverwerking Stainkoeln, Essent en A&G (v/h VBM)

Het project kende de volgende fasen:

- **fase 1: opstart (2000- 2002)** theorie ontwikkeling, toetsingskader, opstart van onderzoek, databank, eerste interpretaties.
- **fase 2: uitontwikkelen (2003)** completeren van data, bevestigen van theorie, beleidsmatige haalbaarheid en doorkijk naar praktische invulling.
- **fase 3: generaliseren en concretiseren (2004-2005)** praktische invulling (ontwerp, economisch), vaststellen integrale haalbaarheid.

Bij de integrale beoordeling of duurzaam storten een haalbaar concept is, is gebruik gemaakt van de (inter)nationaal beschikbare informatie vanuit praktijk en onderzoek (pilots<sup>1</sup>, lysimeters<sup>2</sup>, laboratorium proeven) en de drie uitvoerige pilots die in het kader van het project zelf zijn uitgevoerd. Deze pilots hadden betrekking op een:

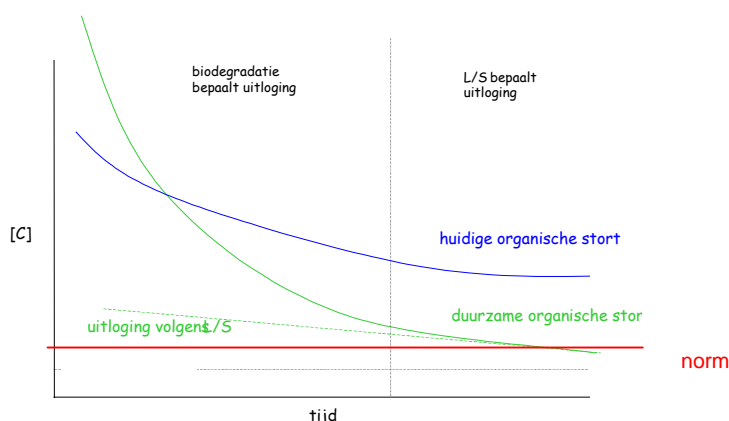
- organisch gedichteerde stort (**Bioreactor**): een technologie gericht op het zo snel mogelijk stabiliseren van de organische stof en daarbij het verminderen van emissies van verontreinigingen.
- niet-organisch gedichteerde stort (**Equistort**): een technologie gericht op een stort met gestabiliseerde organische stof waarbij de emissies van verontreinigingen laag zijn;
- koude immobilisaat stort (**Monolith**): een technologie gericht op het cementeren van afvalstoffen die niet in de Equistort gebracht kunnen worden.

## 1.4 Belangrijkste uitkomsten van het project

Het project duurzaam storten heeft drie belangrijke uitkomsten:

- 1 De totale rest emissies zijn lager dan bij regulier storten.
- 2 De emissies vinden sneller plaats dan bij regulier storten.
- 3 Een betere voorspelling en sturing van emissies is mogelijk.

Door het toepassen van Duurzaam Storten ten opzichte van het reguliere stortproces worden in de eerste plaats de totale emissies verminderd en wordt in de tweede plaats de tijd verkort waarin de emissies plaatsvinden (zie figuur 1). Dit leidt niet alleen tot minder emissies in, maar ook tot een geringere belasting van toekomstige generaties. Hierdoor is eeuwigdurende nazorg niet meer nodig. Dit leidt niet alleen tot mogelijke financiële voordelen, maar ook tot een beperking van het risico voor toekomstige generaties.



Figuur 1 Concentraties percolaat in de tijd

<sup>1</sup> pilot: proef op praktijkschaal;

<sup>2</sup> lysimeter: proef op semipraktijkschaal

De positieve effecten zijn mogelijk omdat het chemische proces in de stort actief beïnvloed wordt. Een voorbeeld hiervan is het toevoegen van voldoende water waardoor processen eerder en efficiënter tot stand komen.

Een derde uitkomst van het project duurzaam storten is dat de opgebouwde kennis geleid heeft tot betere simulatiemodellen waardoor emissies nauwkeuriger voorspeld en gestuurd kunnen worden (de Black Box opent zich). Voor alle belangrijke stoffen is het mogelijk duurzaam storten zo in te richten dat emissies onder de grenswaarden liggen en tevens sprake is van een stabiel emissiepatroon. Hierdoor is het mogelijk de dure bovenafdichting later aan te leggen of zelfs in het geheel achterwege te laten zonder dat dit leidt tot extra belasting van het milieu. Dit leidt tot mogelijke financiële voordelen voor de exploitant, de nazorg organisatie en daarmee voor de gehele maatschappij. Overigens is het achterwege laten van een dergelijke bovenafdichting in overeenstemming met de huidige EU-regelgeving, maar niet met die van Nederland. Het project duurzaam storten toont dan ook aan dat de specifieke Nederlandse eisen niet noodzakelijk zijn. Sterker nog, de afdichtingen volgens de Nederlandse regels stellen de emissies uit. Het probleem wordt doorgegeven aan volgende generaties. Dit is precies het tegenovergestelde van duurzaamheid.

## 1.5 Vergelijking Duurzame en reguliere stortplaats

In tabel 1 zijn de verschillen en overeenkomsten aangegeven tussen een reguliere (Stortbesluit Bodembescherming) en Duurzame Stort aangegeven.

Tabel 1 *Vergelijking Regulier en Duurzaam*

Aspect	Regulier	Duurzaam
Locatiekeuze	Niet expliciet gereguleerd, wel aspect m.e.r.	Relatie met zelfreinigend vermogen omgeving
Ontwerp	Conform Stortbesluit	Geen bovenafdichting Meer voorzieningen (drainage, beluchten)
Exploitatie	Conform Stortbesluit	Meer inspanning gericht op sturen van proces
Acceptatie	Binnen de regels stortverboden	Binnen regels stortverbod & afhankelijk van invloed op biochemisch proces
Emissies	'end of pipe'	proces geïntegreerd
Nazorg	Eeuwigdurend	Minimaliseren en eindig maken
Conform regels NL	Ja	Nee (geen bovenafdichting) maar kan altijd binnen regels gebracht worden
Conform regels EU	Ja	Nee, acceptatie op basis van bulkeigenschap in plaats van afvalstof eigenschap
Kosten	Referentie	Ja, indien acceptatie beperkt wordt Even duur tot duurder

## 1.6 Leeswijzer samenvatting

Hoofdstuk 2 bespreekt de juridische context van het rapport. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de belangrijkste processen. De modellering die plaats heeft gevonden wordt toegelicht in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bespreekt de drie onderliggende duurzame stortconcepten en het daaruit volgende totale concept. Hoofdstuk 6 vat de conclusies van het project samen.

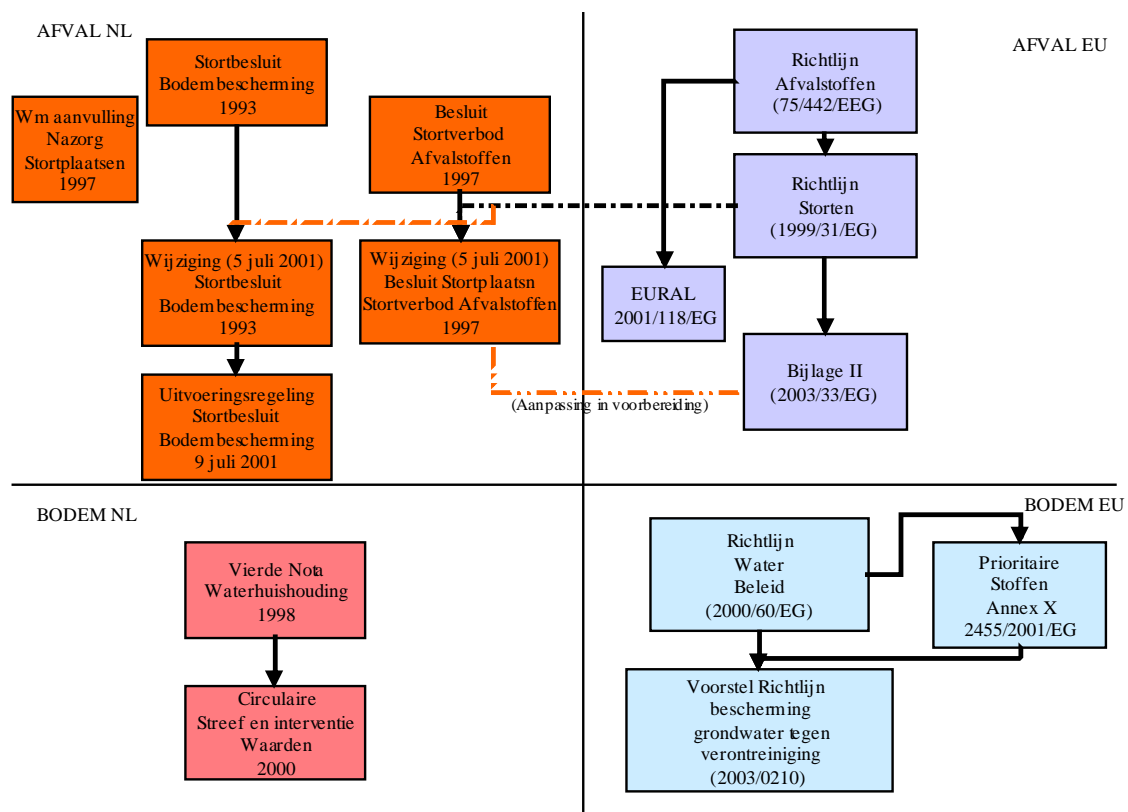




## 2. Juridisch Kader

### 2.1 Evaluatie duurzaam Storten en regelgeving

Aan het storten van afval wordt een groot aantal regels verbonden, zowel nationaal als Europees en zowel vanuit het aspect afval als bodem. Figuur 2 presenteert een overzicht van de huidige regelstellende documenten (NL en EU).



Figuur 2 Juridisch kader

De afval gerelateerde Europese regelgeving biedt een kader waarmee de eigenschappen en voorwaarden van Duurzaam Storten niet in conflict zijn.

De EU regelgeving ten aanzien van grondwaterkwaliteit is in ontwikkeling, dit maakt een beoordeling van de inpasbaarheid van Duurzaam Storten lastig. De doelstellingen van Duurzaam Storten en het grondwaterbeleid zijn eensluidend, namelijk geen negatieve impact op de omgevingskwaliteit. De Europese Richtlijn Storten eist geen onder- en bovenafdichting bij stortplaatsen voor inerte afvalstoffen.

De doelstelling van Duurzame Stort uitgewerkt vanuit het Europees-juridisch kader:

*Een duurzame stort voldoet **binnen circa 30 jaar** duurzaam aan de emissiedrempel voor een **stortplaats voor inerte afvalstoffen** en tevens worden de drempelwaarden ten aanzien van grondwaterkwaliteit niet overschreden.*

## 2.2 Acceptatie

De aanvaardbare uitloging wordt bepaald door het terugrekenen van kwaliteitsdoelstellingen van grondwater via een gestandaardiseerde modelberekening naar een bronterm (emissie in de stort). Uiteindelijk is dus de bronterm bepalend of een afvalstof geaccepteerd kan worden. De EURAL<sup>1</sup>-lijst wordt gehanteerd om een bron te definiëren. De bronterm kan ook anders gedefinieerd worden: de uitloging van het totale pakket van afvalstoffen dat gestort is. Dit doet recht aan het feit dat afvalstoffen (zoals bekend) met elkaar reageren en dat de interacties tussen de afvalstoffen de emissie bepalen en niet de optelsom van de separate emissies per afvalstof. ***Duurzaam storten hanteert de bronterm van de mix als uitgangspunt voor de acceptatie.***

De bronterm is een dynamische grootheid tijdens het stortproces. De eigenschappen (in de tijd) veranderen bij afvalaanbod, doordat de mix in de tijd wijzigt. Het sturen van de mix op de uitlogingseisen is een belangrijk aspect van duurzaam storten.

## 2.3 Voorzieningen

De Nederlandse regels stellen boven- en onderafdichting van een stortplaats verplicht. De EU-regels zijn minder strikt en stellen eisen aan de onderlaag voor een stortplaats voor niet gevaarlijk en gevaarlijk afval. In Nederland is een onderafdichting verplicht aangezien Nederland geen “ondoorlatende” ondergrond kent. In Europa zijn er wel gebieden waar een onderafdichting niet noodzakelijk is (conform Europese Richtlijn Storten).

Duurzaam Storten verlangt in Nederland een onderafdichting. Deze onderafdichting zal en kan zijn functie verliezen indien de afvalmix op duurzaam niveau is.

Afhankelijk van de basismix zijn er tevens aanvullende voorzieningen noodzakelijk. Dit kan bestaan uit bijvoorbeeld extra drainage (doorspoelen/recirculeren: aanvoer en afvoer) of het behandelen van percolaat. Voor gasonttrekking voldoet een systeem dat in Nederland gebruikelijk is.

Een bovenafdichting isoleert de stort van zijn omgeving en hiermee wordt een labiel evenwicht gecreëerd dat met veel inspanning in stand gehouden dient te worden (vervanging afdichting). Een duurzame stortplaats kent geen bovenafdichting (wel afdekking) zodat er de benodigde interactie is tussen stortlichaam en omgeving.

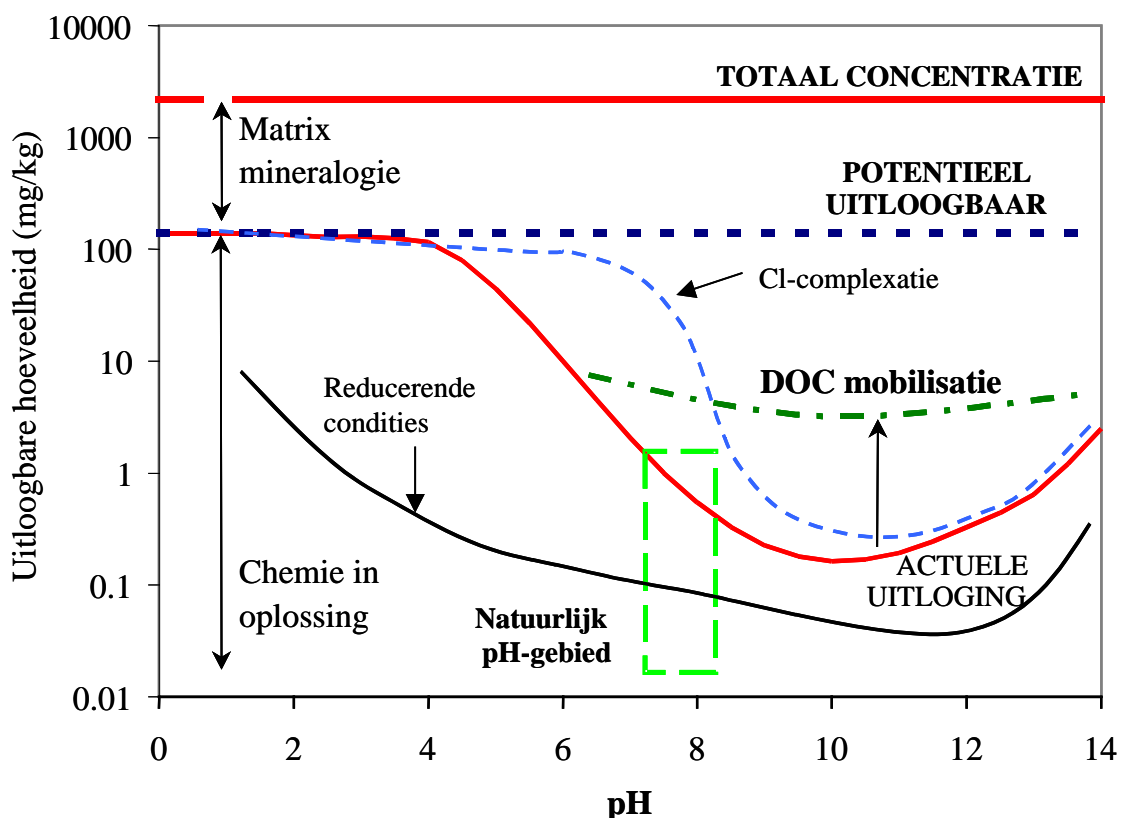
---

<sup>1</sup> Europese (afval)stoffenlijst

## 3. Processen, componenten en sturing

### 3.1 Proces & Componenten

Een stortplaats kent een breed scala aan emissies. De belangrijkste processen hiervoor zijn de uitloging en het transport door geïnfiltreerd water. Daarnaast ontstaat een gas-emissie als resultaat van afbraak van organische stof naar methaan ( $\text{CH}_4$ ), kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) en water.



Figuur 3 Overzicht van processen in het stortlichaam die een bepalende invloed hebben op de uitloging van stoffen naar de omgeving

De componenten die een rol spelen in het proces in een stortplaats zijn in een aantal groepen ingedeeld naar gedrag en samenstelling.

- **Organische macrocomponenten** zoals BZV, CZV en organische N worden gevormd en deels door afbraak omgezet in vetten, suikers, hemicellulose, cellulose en stortgas. De biologische processen zijn bekend en goed beschreven. De mate van afbraak hangt af van een aantal factoren zoals afvalsamenstelling, watergehalte en temperatuur.
- **Organische microcomponenten** zijn in het algemeen in de afvalstoffen aanwezig en komen terecht in stortgas en percolaat. Deze componenten worden omgezet onder aërobe en anaërobe omstandigheden.
- **Metaal-ionen** zijn ook in het afval aanwezig. Verreweg het grootste deel blijft geïmmobiliseerd en komt niet in het percolaat. Mobilisatie of immobilisatie van metalen geschiedt door een aantal processen die afhankelijk zijn van de pH en de degradatie van het organisch materiaal, zie figuur 3.

- **Oxische anionen** zoals  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  zijn afkomstig van zwavel en fosfor-verbindingen. Het type afvalstof is sterk bepalend voor de hoeveelheid oxische anionen in het percolaat. Dit geldt ook voor **zouten** zoals  $\text{Cl}^-$ .

### 3.2 Processturing

De volgende factoren beïnvloeden de emissies van stortplaatsen:

- **Afvalselectie:** (i) preventie: stoffen uitsluiten van storten (ii) toevoegen van componenten om bepaalde processen te stimuleren. (iii) combineren van afvalstoffen waarbij de interactie de emissie vermindert;
- **Voorbehandeling:** kan probleem componenten verwijderen voorafgaand aan storten. Tevens kunnen de afvalstoffen gehomogeniseerd worden indien van toepassing;
- **Biodegradatie:** organische componenten worden gevormd en afgebroken bij biologische afbraak. Omzetting kan gestimuleerd worden door het creëren van aërobe in plaats van anaërobe condities. Biodegradatie beïnvloedt ook de metaal concentraties in het percolaat aangezien opgeloste organische stofconcentraties verminderen en daarmee de complexatie van metalen;
- **Immobilisatie:** kan gebruikt worden als een voorbehandeling voor materialen die zonder behandeling niet geaccepteerd kunnen worden;
- **Oplosbaarheidcontrole:** verdeling tussen vaste en vloeibare fase bepaalt het vrijkomen van metaal ionen. Deze verdeling wordt grotendeels bepaald door de pH, geleidbaarheid, redox en DOC concentraties in de vloeibare fase (zie figuur 3);
- **Doorspoelen:** verwijdert opgeloste componenten met de vloeibare fase die vervangen worden door niet schoon water. Om voldoende verdunning te verkrijgen in de voorgestelde tijdsperiode is een infiltratie van 1500-3000 mm/jaar benodigd.

Het effect van processturing is afhankelijk van het gedrag van de component. In tabel 2 zijn de relaties aangegeven.

Tabel 2 *Processen versus typen emissie componenten*

Component \ Processen	Afval selectie	Immobilisatie	Biodegradatie	Oplosbaarheids controle	Uitspoelen (doorstromen)
Organische macro's	X	-	X	x	x
Organische micro's	?	-	x	?	X
Metalen	X	X	X	X	?
Oxy- anionen	X	?	x	?	X
Zouten	X	x	-	-	X

Legenda:

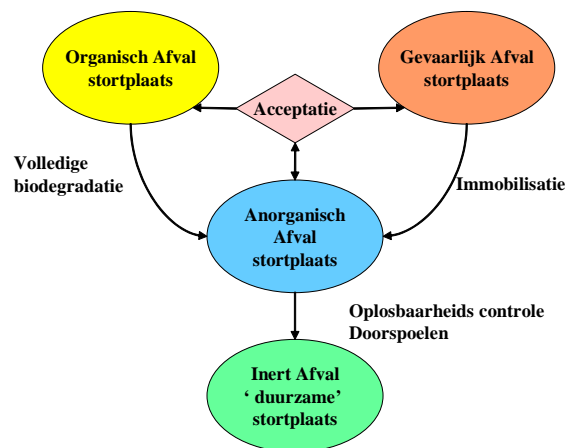
- Een X in de tabel geeft aan dat de component het proces sterk beïnvloedt. Dit betekent dat het proces gebruikt kan worden om het vrijkomen van de component kan verminderen dan wel controleren;
- Een x geeft aan dat het proces een zekere invloed op de component, maar dit een bijeffect is van het effect van andere componenten;
- Een ? geeft aan dat het effect van proces op de component niet eenduidig of onbepaald is zodat geen voorspelling te maken is;
- Een – geeft aan dat het proces geen direct effect heeft op de betreffende component.

In figuur 3 geeft het veld (paarse lijn) bij de neutrale pH de eindsituatie aan die bereikt kan en dient worden door sturing op acceptatie, ontwerp en beheer.

### 3.3 Naar een integrale benadering

De samenstelling van het afval bepaalt in grote mate de benodigde aanvullende sturingsprocessen en het emissie potentieel. Aan de acceptatie van afvalstoffen waaruit kritische parameters ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) spoelen worden strenge eisen gesteld. Voor afvalstromen met een verhoogd gehalte van deze kritische componenten moeten specifieke maatregelen genomen zoals voorbehandeling (bijvoorbeeld Monolith) dan wel geschikte locatiekeuze (bijvoorbeeld brak grondwater). In deze studie onderscheiden we drie type stortplaatsen die elk een specifiek reactief gedrag vertonen dat ook weer zijn eigen maatregelen vergt ter controle en sturing van de processen in het stortlichaam.

Onderzoek toont aan dat het eindpunt van een willekeurige stortplaats convergeert naar een (1) eindplaatje, zie figuur 4.



Figuur 4 Van organisch gedomineerde stortplaats of een stortplaats voor gevaarlijk afval naar een stortplaats voor inert afval (of wel duurzame stortplaats)

De drie typen stortplaatsen representeren het spectrum van alle stortplaatsen. Deze types stortplaats zijn in het kader van dit project Duurzaam Storten onderzocht op laboratorium schaal, lysimeterschaal en pilotschaal. De uitdaging is om het eindpunt zo snel mogelijk te bereiken. Het versnellen van het bereiken van dit eindpunt wordt bepaald door het inzetten van het juiste pakket van processturing instrumenten.



## 4. Database en modellering

### 4.1 Benadering van modelleren van stortplaatsprocessen

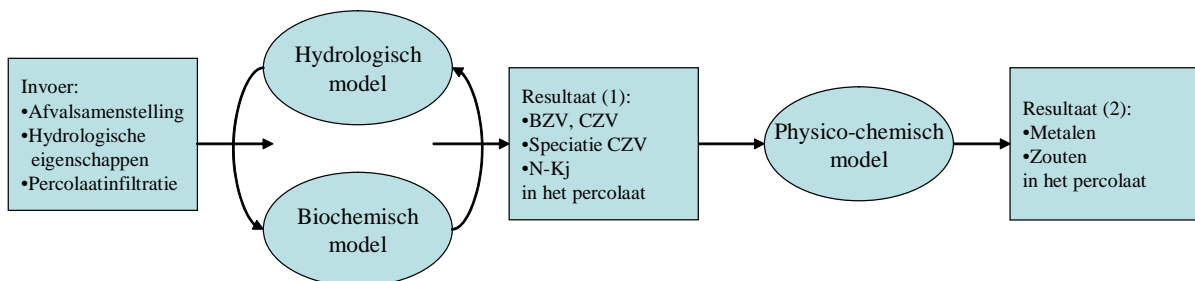
Modellering van processen biedt de mogelijkheid om:

- het emissieprofiel in de tijd te voorspellen,
- invloed van processturing te voorspellen,
- status van een bestaande stortplaats te bepalen.

Het project Duurzaam Storten heeft geleid tot integrale kennis van de processen in de stort op basis waarvan de modellering heeft kunnen plaatsvinden. Voor de modellering van de processen dient met een groot aantal chemische, biochemische en transport aspecten rekening gehouden te worden:

- Biochemische omzetting van organische stof in opgeloste organische stof en vervolgens de vorming van vetzuren,  $N_{Kj}$  en biogas; fysisch-chemische verschijningsvorm: oplossing en neerslag van metalen, anionen en zouten, adsorptie van componenten;
- Transport van vloeistoffen door poriën in het afval;
- Transport van gevormd gas door de poriën;
- Opwekking en transport van warmte, gevormd als gevolg van aërobe en anaërobe omzettingen in het afval.

De modellering is opgebouwd uit drie submodellen die deels parallel en deels in serie zijn gebruikt, zie figuur 5.



Figuur 5 Model-benadering

Gastransport op zich is niet meegenomen in de modellering, wel de impact van gastransport op de hydraulische doorlatendheid. Ook de vorming en transport van warmte is niet gemodelleerd omdat het geen bepalende factor is bij biodegradatie in voorkomende omstandigheden.

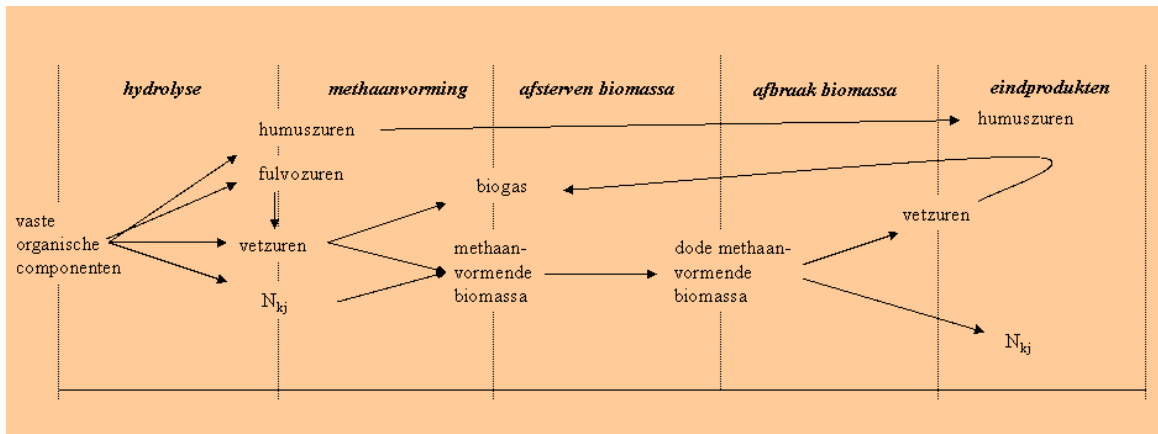
### 4.2 Modelleren van biochemische omzettingen

In stortplaatsen vinden we substantiële hoeveelheden organische koolstof in het percolaat in de vorm van BZV, CZV en  $N_{Kj}$ . Uiteindelijk dienen de BZV en CZV concentraties in het percolaat aan bepaalde voorwaarden te voldoen. In de tweede plaats correleert CZV met de DOC concentraties. Hoge niveaus aan CZV leiden tot verhoogde concentraties van DOC en daarmee zware metalen door complexatie. Hierdoor dient dus ook de DOC concentratie aan voorwaarden te voldoen.

Het model is ontwikkeld op basis van de vertaling van een aantal reactie schema's. Hierin zijn de volgende stappen onderscheiden:

- Hydrolyse;
- Methanogenese;
- Afsterven van methanogene biomassa;
- Afbraak van afgestorven biomassa.

Voor nadere details zie onderstaande figuur 6.



Figuur 6 Schematisch overzicht van biochemische modellering van percolaatkwaliteit

In werkelijkheid zijn de reactie mechanismen veel gecompliceerder. Het vereenvoudigde reactie schema is gekoppeld aan het model.

### 4.3 Fysisch chemische modellering

De modellering is opgebouwd uit deels bestaande databases, modellen en een selectie van oplosbaarheid controlerende mineralen. Het resultaat van de modelberekeningen omvat:

- Een voorspelling van het totale gehalten in de waterfase;
- Inzicht in de (verschijnings)vorm van elk van de elementen in de verschillende fasen;
- Beschrijvingen van de pH-afhankelijke uitloging en de chemische vorm in zowel vaste als vloeibare fase (percolaat).

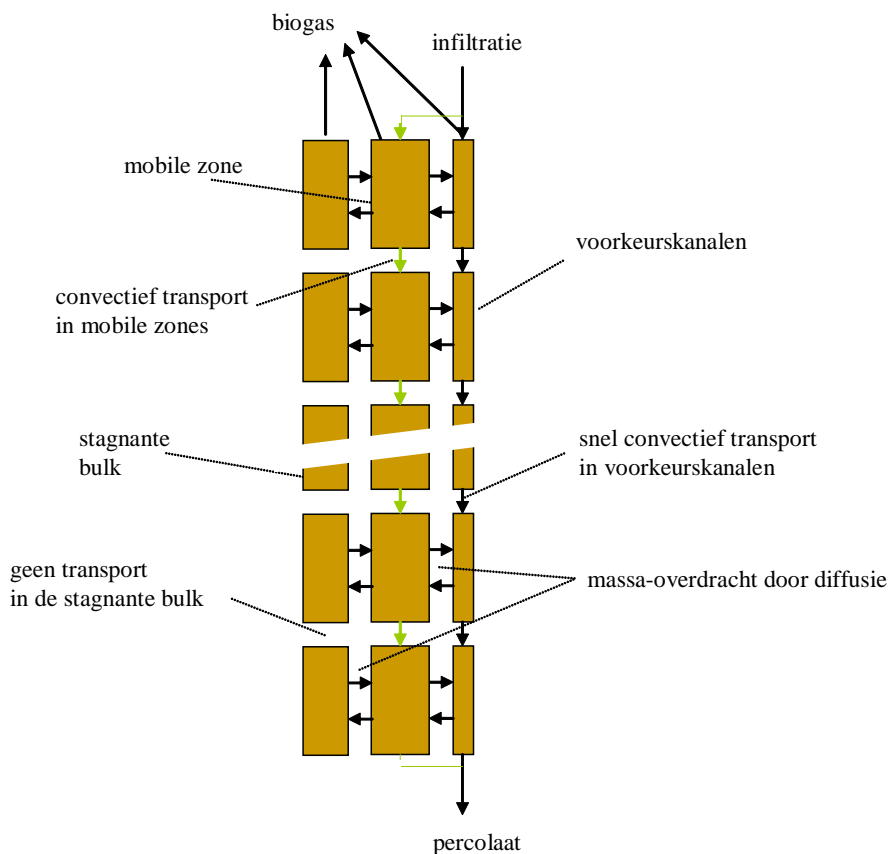
### 4.4 Modelleren van hydrologie

Er is aangenomen dat de waterstroming beschreven kan worden met drie snelheden:

- een stagnante bulk,
- een langzaam bewegende fase en
- een snel bewegende fase.

Tussen de opgeloste en vaste fase vindt overdracht van stoffen plaats. Figuur 7 presenteert een schematische benadering van het hydrologische model. Het model is getest met diverse Bioreactor kolom tests.





Figuur 7 Schema van waterstroming in een stortplaats

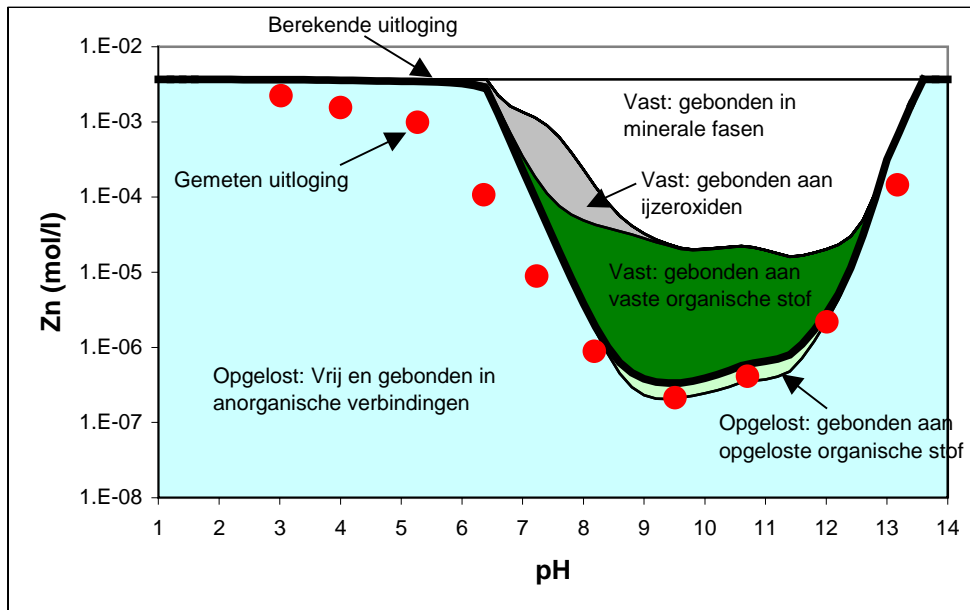
### 4.5 Data-interpretatie

Er is een raamwerk ontwikkeld (LEACH XS) om databestanden en modelleringresultaten te benaderen, om scenario's door te rekenen en te vergelijken met regels en normen, zie ook figuur 8.

<i>DATABASE</i>	<i>MODEL</i>	<i>RAPPORTAGE</i>
<i>Uitloging</i>	<i>Leach XS</i>	<i>Excel Spreadsheets</i>
<i>Scenario</i>		<i>Rapporten</i>
<i>Regels</i>		<i>Andere modellen</i>
<i>Thermo Dynamica</i>	<i>Orchestra</i>	

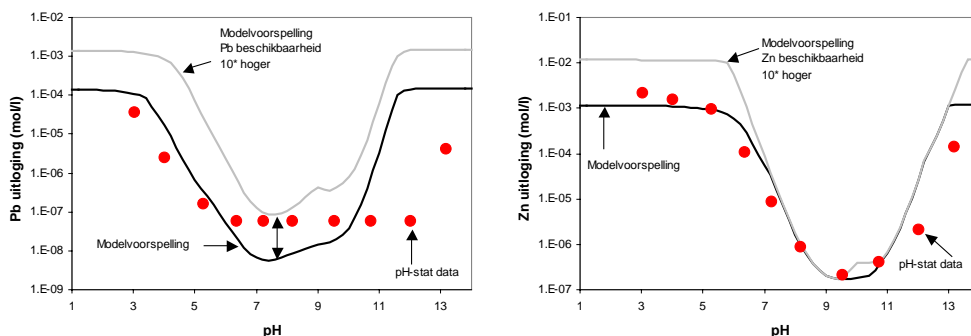
Figuur 8 Structuur van LeachXS

In figuur 9 wordt een voorbeeld van de output van het model gepresenteerd. In de figuur zijn zowel de meetdata (rode punten) als de modelberekeningen (vette lijn) van het effect van organische stof op de beschikbaarheid van metalen voor uitloging gepresenteerd.



Figuur 9 Uitloging van Zn uit een overwegend anorganische afvalstoffen mix

In figuur 10 wordt een voorbeeld gegeven van de effecten van de afvalsamenstelling op de uitloging. De figuur toont de pH-afhankelijke uitloging van Pb en Zn. De zwarte lijn in de grafiek is de berekende modelvoorspelling van de uitloging. Dat de lijn voor het grootste deel dicht bij de data ligt betekent dat we de chemische processen goed beschrijven. Vervolgens is een situatie doorgerekend waarbij de voor uitloging beschikbare concentratie een factor 10 verhoogd is. De grijze lijn laat dan zien dat dit voor Pb grote effecten heeft (uitloging wordt 10 maal hoger), terwijl de uitloging voor Zn onder praktijkcondities (pH 7-9) niet veranderd. Deze resultaten laten zien dat hiermee duidelijk sturing gegeven kan worden aan het uitloggedrag van afvalmengsels.



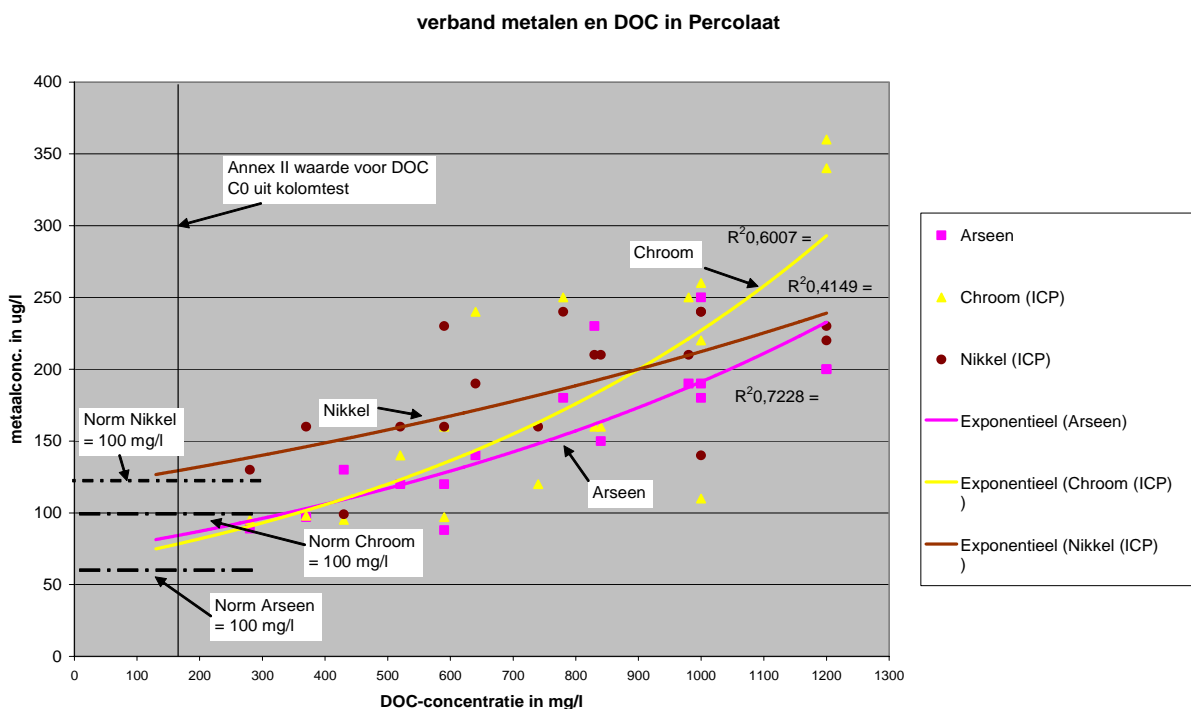
Figuur 10 Uitloging van Pb en Zn als functie van pH (datapunten) en de modelvoorspelling van het uitloggedrag van het afvalmengsel (zwarte lijn)

## 5. Resultaten

### 5.1 Stortplaatsen voor overwegend organisch afval

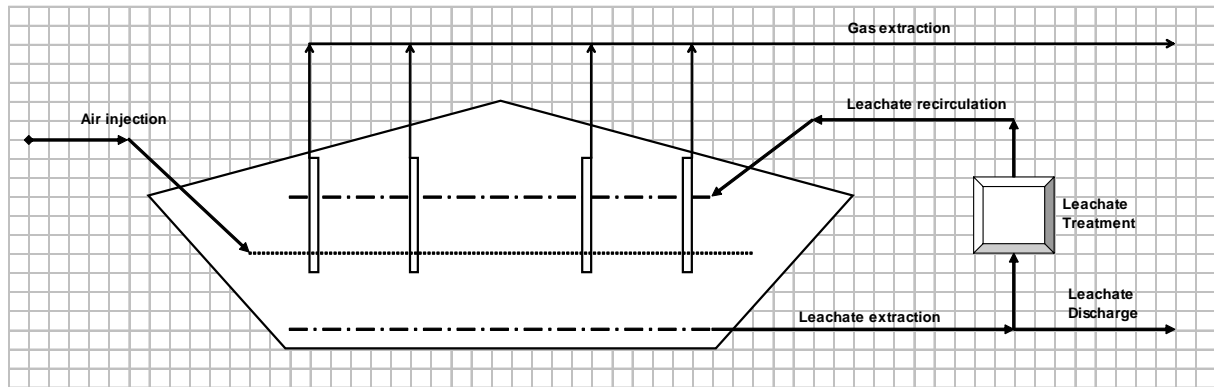
Het emissiegedrag van afval met een hoog gehalte organische stof wordt gedomineerd door de afbraak van deze organische stof. Stortgas wordt gevormd en de concentraties aan BZV, CZV en  $N_{Kj}$  in het percolaat zijn hoog. Het hoge organische gehalte leidt tot hoge gehalten aan metaalionen in het percolaat, zie figuur 11. Als de biodegradatie bijna volledig is, dalen de concentraties in het percolaat significant. Tegen de tijd dat de afbreekbare organische stof is afgebroken tot niet verder afbreekbare organische stof is het gedrag van het stortlichaam gewijzigd in een stortplaats van anorganisch afval.

Voor organisch gestort afval is de uitdaging een zo snel mogelijke, complete afbraak van organische stof te verkrijgen. Afvalselectie, percolaat recirculatie en het creëren van omstandigheden voor aërobe afbraak zijn de belangrijkste sturings maatregelen om complete en volledige afbraak te realiseren.



Figuur 11 Relatie tussen opgeloste organische stof (DOC) en metaaluitloging

Het ontwerp van een organisch gedicteerde duurzame stortplaats is gericht op sturing van de biochemische processen, zie algemeen ontwerp in figuur 12.



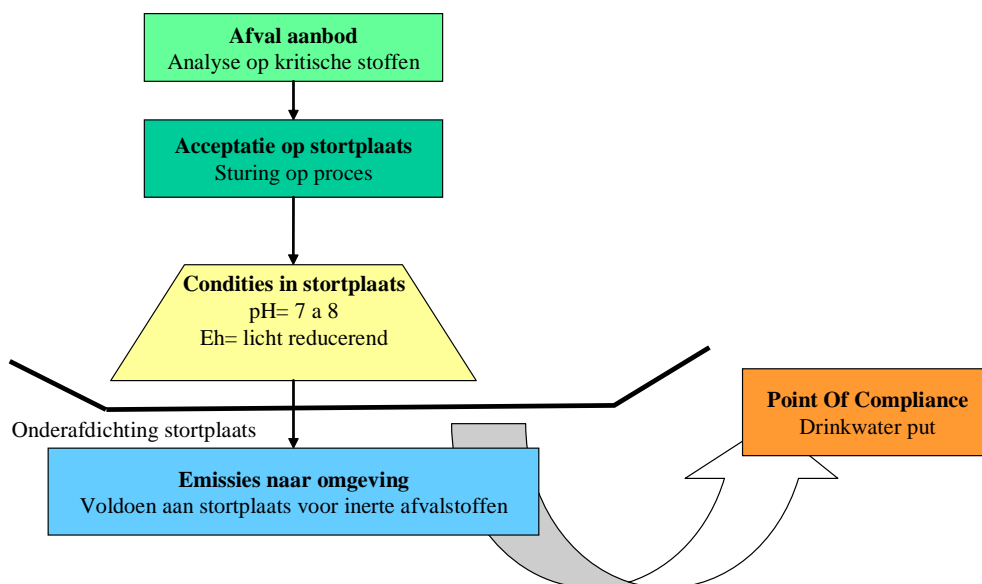
Figuur 12 Algemeen ontwerp Duurzame Stortplaats (Bioreactor)

## 5.2 Stortplaatsen voor overwegend anorganisch afval

Voor dit type stortplaats heeft de pH een groot effect op het uitlooggedrag. De uitloging wordt bepaald door de verdeling van de stoffen tussen de vloeibare en vaste fase. Het begrijpen van de factoren die de verdeling tussen de twee fasen bepalen tijdens de verschillende stadia van een stortplaats is de sleutel tot het sturen in de percolaat-kwaliteit. pH, geleidbaarheid, redox en DOC worden gestuurd door hoofdbestanddelen (calciet, TOC, S, zouten) en de aard van de organische stof in het afval.

De interactie tussen de organische en anorganische stoffen en de opgeloste organische stof is hierbij cruciaal aangezien gecompliceerde vormen meer mobiel zijn en tegelijkertijd soms minder toegankelijk voor organismen.

Door de gecontroleerde opbouw van het stortlichaam blijven de condities in de stort gunstig zodat voldaan kan worden aan de Europese regelgeving en aan het criterium dat de stortplaats binnen 30 jaar stabiel is.



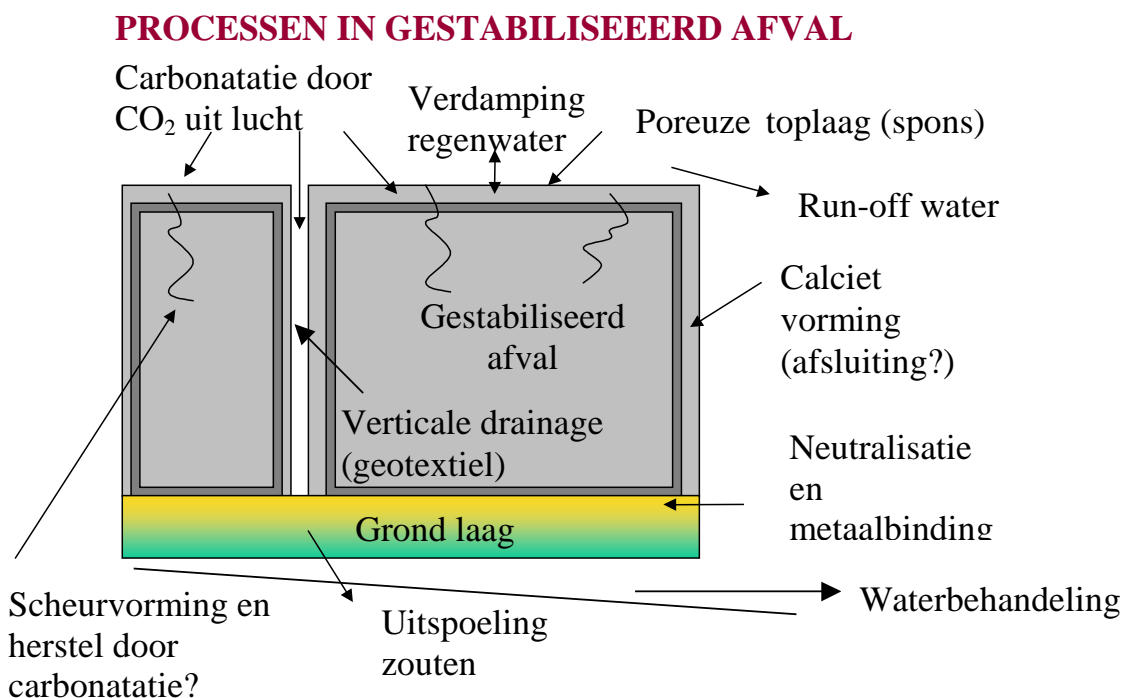
Figuur 13 Schetsontwerp Duurzaam storten, overwegend anorganisch afval

Het ontwerp (zie figuur 13) van een anorganische duurzame stortplaats wijkt niet af van een reguliere stort maar is gericht op sturing van de biochemische processen door acceptatiebeleid en stortopbouw.

### 5.3 Stortplaatsen voor gevaarlijk afval

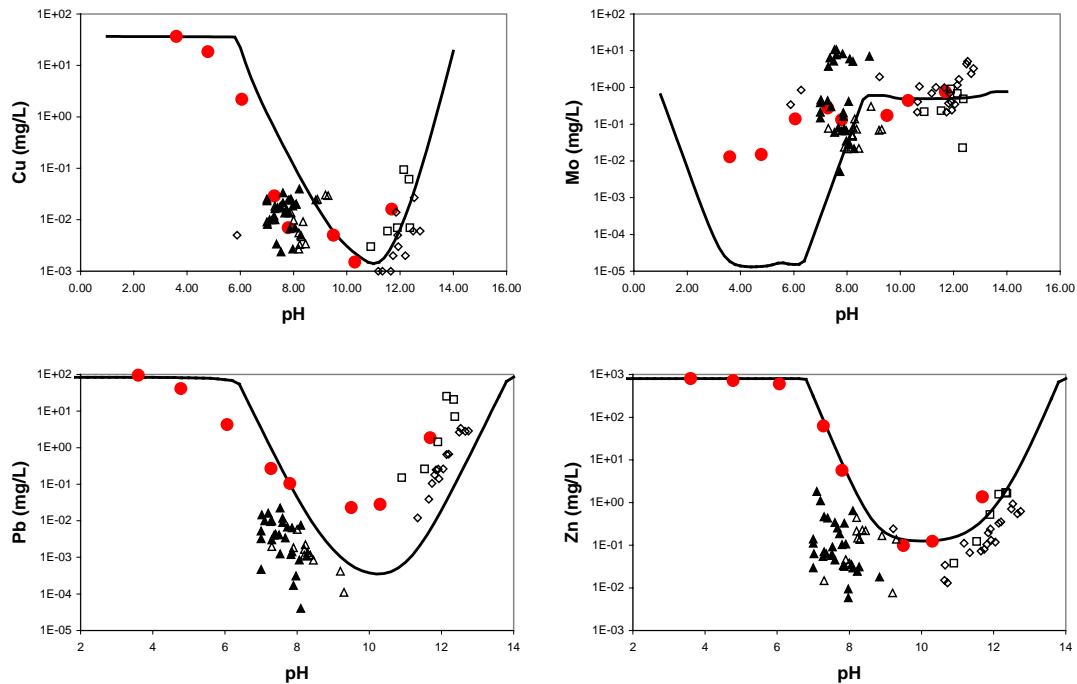
De uitloging van gevaarlijk afval dient zo sterk mogelijk verminderd te worden. Vanuit dit uitgangspunt kiest duurzaam storten om het uitlooggedrag te wijzigen. De belangrijkste uitdaging omvat het verzekeren dat deze doelen gewaarborgd worden vanuit een omstandigheid ver van een evenwicht situatie. Het ontwerp omvat hiertoe een natuurlijke afscherming (calciet) en de buffering van de pH door een grondlaag. Het scenario voor gestabiliseerd afval is schematisch weergegeven in figuur 14.

In de pilotproef is aangetoond dat het oppervlak van het gestabiliseerd afval afgeschermd raakt. Figuur 14 laat duidelijk zien dat het oppervlak ongeveer pH 8,5 is terwijl het materiaal binnenin een pH van ongeveer 12 heeft. De voorlopig beperkte kennis van dit fenomeen laat geen modellering toe. Het is de verwachting dat op korte termijn de integrale kennis beschikbaar is en dat modellering van het uitlooggedrag van een Monolith kan worden uitgevoerd.



Figuur 14 Schematische weergave van de scenario beschrijving van een Monolith stortplaats

In figuur 15 zijn de resultaten van pH-afhankelijke uitloging van Cu, Mo, Pb en Zn uit gestabiliseerd afval vergeleken met monofill data uit de praktijk, percolaat uit de pilotproef, run-off uit de pilotproef, uitgeloogde boorkernen en lysimeter data, waarbij tevens de resultaten van de modellering zijn weergegeven.



Figuur 15 pH-afhankelijke uitloging van Cu, Mo, Pb en Zn uit gestabiliseerd afval (●) in vergelijking met monodeponie data (veldschaal) en pilot experiment percolaat (▲), pilot-experiment run-off (△), uitgeloopte boorkernen (□) en lysimeter data (◇). De getrokken lijn geeft de berekende uitloging weer

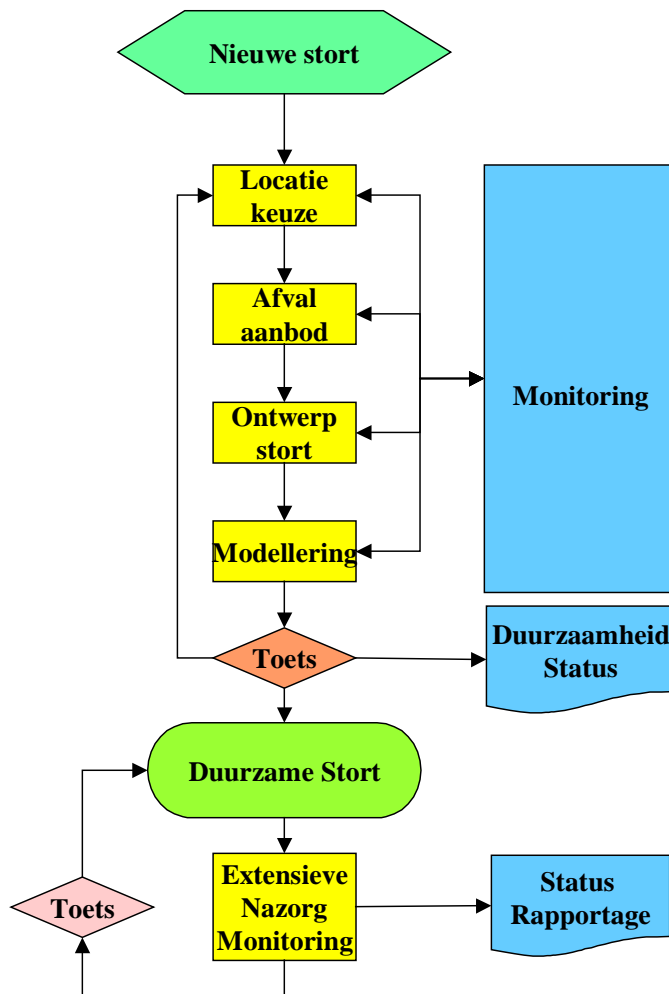
## 5.4 De weg naar een duurzame stort

De weg naar een duurzame stort is nog steeds lang en zonder garanties. Toch kan op basis van de beschikbaar gekomen kennis en interpretaties een route uitgestippeld worden die leidt tot een duurzame stort. Er zijn nog open vragen die met nader onderzoek ingevuld dienen te worden, mogelijk kunnen hieruit nog wijzigingen voortkomen maar die worden niet als potentieel belemmerend beoordeeld.

De hoofdstappen (zie figuur 16) van het ontwikkelen van een duurzame stort omvatten vanzelfsprekend keuzemomenten waarin de sturing van het proces in de gewenste richting wordt vormgegeven. De monitoring van de emissies van de stortplaats geeft input aan eventueel aanvullende maatregelen om te komen tot een duurzame stortplaats. Een beperking is dat een aantal maatregelen om processen te sturen alleen vóór het storten kunnen worden ingebracht.

De volgende hoofdstappen worden onderscheiden:

- 1 **Locatiekeuze:** aangezien de emissie-eisen afhankelijk gesteld zijn van omgevingsfactoren heeft een minder doorlatende ondergrond de voorkeur, tevens heeft het de voorkeur om een locatie te selecteren met een relatief hoog neerslagoverschot (in verband met doorstroming en daarmee biodegradatie en uitspoeling). Voor de emissie van zouten kan het gunstig zijn een locatie nabij de zee te kiezen (brak grondwater).
- 2 **Afvalaanbod:** Sturing in het afvalaanbod (de juiste cocktail) is een belangrijk aspect om te komen tot een duurzame stort. Uit het te verwachten aanbod dient een basismix te worden samengesteld die in een periode van ca 30 jaar naar een duurzame stort tendert.



Figuur 16 De weg naar een duurzame stort

- 3 **Ontwerp stort:** afhankelijk van de basismix dienen voorzieningen te worden aangebracht, een organische stort wordt zo snel mogelijk compleet biologische gestabiliseerd waarbij het percoleren een belangrijk aspect is, een anorganische stort heeft afhankelijk van de "probleemstoffen" specifieke voorzieningen tav oplosbaarheid en immobilisatie (metalen) of doorstroming (zouten).
- 4 **Modellering:** op basis van de mix en de voorzieningen dient de eindsituatie doorgerekend te worden met het ontwikkelde database/expert systeem binnen het project Duurzaam Storten (LeachXS). De modelleringresultaten geven aan of en wanneer een duurzame situatie bereikt kan worden tevens wordt de gevoeligheid met scenario berekeningen bepaald
- 5 **Vergunning:** Een Duurzame Stort is nog niet geheel in lijn met een stortplaats voor inerte afvalstoffen (Europese Richtlijn Storten) en ook niet conform stortbesluit. Aangezien gedurende de procestijd (maximaal 30 jaar) een onderafdichting noodzakelijk is, kan zonder problemen op een duurzame manier gestort worden.
- 6 **Financieel:** Of er nazorg voordelen te behalen zijn (geen bovenafdichting bij Duurzaam Storten, zie tabel 3) is afhankelijk of in de tussentijd een duurzame stort opgenomen wordt in de regelgeving. De stortplaats voor inerte afvalstoffen (Europese Richtlijn Storten) gaat uit van beoordeling op basis van separate afvalstoffen (deels ook nog op samenstellingbasis in plaats van uitloging). Duurzaam Storten gaat uit van de beoordeling

van het integrale afval mengsel. Kostenvergelijking met de Monolith is nog niet beschikbaar.

Tabel 3 *Kwalitatieve kostenvergelijking duurzaam versus regulier*

Voorziening	Duurzaam	
	Bioreactor	Equistort
Bovenafdichting	++	++
Leidingwerk	-	-
Exploitatie	--	--
Percolaatbehandeling	--	-
Stortgas opbrengt	+	o
Beluchting	--	o
Nazorg reservering	(++)	(++)
Totaal	-	o

'+' minder kosten voor exploitant;

'-' meer kosten voor exploitant dan regulier.

Hoewel niet onderzocht moet het voor een aantal stortplaatsen in exploitatie moet het mogelijk zijn die om te bouwen tot een duurzame stortplaats. Het project Duurzaam Storten heeft het unieke instrumentarium ontwikkeld om te beoordelen of, en zo ja hoe een bestaande stortplaats tot een Duurzame Stort omgebouwd kan worden. De haalbaarheid is totaal afhankelijk van de bestaande invulling van de processturing (met name de niet wijzigbare) en de beschikbaarheid van monitoringsgegevens.

Op basis van de input, de opbouw en de percolaatgegevens in de tijd van een stortplaats is na analyse mogelijk om een uitspraak te doen over de duurzaamheid van een bestaande stortplaats. Afhankelijk van deze gegevens en de tijd die beschikbaar is, is het in een aantal gevallen mogelijk een pakket van maatregelen vast te stellen die leiden tot een duurzame stortplaats binnen een bepaald tijdpad.



## 6. Conclusies

Hoofdconclusie: Door een zorgvuldige keuze van afvalstoffen (acceptatie) aangevuld met de passende processtuuringsmaatregelen (voorbehandeling, immobilisatie, biodegradatie, oplosbaarheidcontrole en percoleren) is het mogelijk om binnen dertig jaar een stortplaats te realiseren die op basis van emissies vanuit het stortlichaam voldoet aan de voorwaarden van een stortplaats voor inerte afvalstoffen conform Europese Richtlijn Storten. Wel zijn er nog 3 probleemstoffen  $Cl^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$  waar nog aan oplossingen wordt gewerkt. Probleemafvalstoffen kunnen mogelijk in een Monolith stortplaats verwerkt worden.

Het project duurzaam storten heeft drie belangrijke uitkomsten:

- De totale rest emissies zijn lager dan bij regulier storten;
- De emissies vinden sneller plaats dan bij regulier storten;
- Een betere voorspelling en sturing van emissies is mogelijk.

De black box is geopend. De bepalende processen zijn bekend. De sturing van deze processen (met name de hydrologie) kent nog een aantal vragen.

Een Duurzame Stort is een stortlichaam dat voldoet aan de emissie-eisen zoals gesteld aan een Stortplaats voor Inerte afvalstoffen conform de definitie van de Europese Richtlijn Storten.

Hoewel nog niet vastgesteld is het de verwachting dat Duurzaam Storten voldoet aan de eisen van de Europese Richtlijn Grondwaterkwaliteit mogelijk met uitzondering van de stoffen  $Cl^-$ ,  $NH_4^+$  en  $SO_4^{2-}$ .

Het oprichten van een duurzame stort (of compartiment) kent geen extra milieuhygiënische risico's. Indien blijkt dat de wetenschappelijk onderbouwde verwachtingen niet uitkomen of wel dat de overheid geen toestemming geeft, kan altijd een bovenafdichting worden aangebracht waarmee aan EU en NL regels wordt voldaan. Wel zijn er dan extra kosten gemaakt en tevens zullen er nazorggelden beschikbaar dienen te zijn aan het eind van exploitatie van de stortplaats.

In principe zijn alle afvalstoffen Duurzaam te verwerken. Het gaat om de samenstelling van de mix en het pakket van processturing. Een geringe hoeveelheid van een sterk en langdurig uitloegbare afvalstof behoeft geen probleem te zijn. Aangeraden wordt een bulkmix vast te stellen die binnen dertig jaar duurzaam is. Naast de bulkmix kunnen dan specifieke afvalstoffen met afwijkend gedrag worden geaccepteerd indien dit door de bulkmix (buffer) geneutraliseerd wordt. Dit is te bepalen in onderzoek (modellering) voorafgaand aan acceptatie.

Duurzaam Storten beïnvloedt de normale operationele stortwerkzaamheden niet. Wel dienen bepaalde aspecten anders ingericht te worden. Acceptatie (van niet bulkstromen) zal meer tijd kosten, het storten zelf zal aan meer eisen dienen te voldoen (opbouw, compacteren, stortvakken etc). In het algemeen gaan we ervan uit dat er meer kennis bij een duurzame stort benodigd is (mate name biochemische en fysische/hydrologie/storttechniek), deze kennis kan ook ingehuurd worden.

Een voorlopige kostenvergelijking tussen regulier en Duurzaam Storten laat zien dat een Bioreactor met name door extra percolaatbehandeling naar verwachting duurder is dan een reguliere stort. De kosten van Equistort zijn vergelijkbaar met een regulier stort. De kosten verschuiven wel: minder nazorg-, meer exploitatiekosten.

## 7. Nadere informatie

In het kader van het project Duurzaam Storten zijn behalve deze samenvatting de volgende eindrapporten beschikbaar:

- Eindrapport (wetenschappelijke oriëntatie: Engelstalig, ISBN-10: 90-73573-30-0) / ISBN-13: 978-90-73573-30-7;
- Samenvatting, Engelstalig (volgt nog);
- Basisdocumenten:
  - \* Bioreactor ISBN-10: 90-73573-31-9 / ISBN-13: 978-90-73573-31-4
  - \* Equistort ISBN-10: 90-73573-33-5 / ISBN-13: 978-90-73573-33-8
  - \* Monolith ISBN-10: 90-73573-32-7 / ISBN-13: 978-90-73573-32-1
  - \* Database, Engelstalig, ISBN-10: 90-73573-34-3 / ISBN-13: 978-90-73573-34-5

Deze rapporten kunt u vinden op [www.duurzaamstorten.nl](http://www.duurzaamstorten.nl) of [www.sustainablelandfilling.com](http://www.sustainablelandfilling.com).

Tevens zullen een aantal vakbladen wetenschappelijke artikelen publiceren van de onderzoekers over deelaspecten van Duurzaam Storten.

Nadere informatie over het project Duurzaam Storten kunt u verkrijgen bij het secretariaat van de stichting Duurzaam Storten p/a Vereniging Afvalbedrijven ter attentie van Jeanne Kok (073-6279444).