

Ontwikkeltraject duurzaam en circulair verwerken van zuiveringslib

Paul Roeleveld (Royal HaskoningDHV), Joep van Doornik (Waterschap Vallei en Veluwe), Martin Wilschut (GMB BioEnergie)

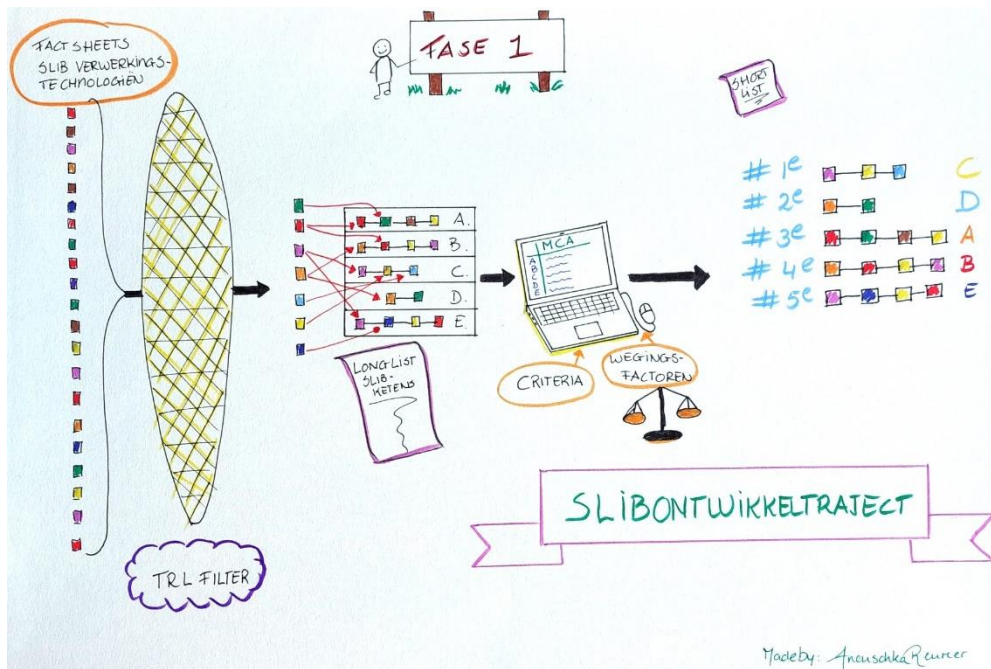
In een ontwikkeltraject onderzoeken Waterschap Vallei en Veluwe, GMB BioEnergie en RoyalHaskoningDHV hoe zuiveringslib meer circulair en duurzaam kan worden verwerkt. Uit een analyse van de momenteel beschikbare technieken komt naar voren dat de gangbare slibverwerkingstechniek wat betreft CO₂-voetafdruk, betrouwbaarheid en vergunbaarheid voorlopig nog de beste is. Er zijn echter verschillende veelbelovende technieken in ontwikkeling voor mogelijke toekomstige toepassing.

Op 1 september 2021 hebben Waterschap Vallei en Veluwe en GMB BioEnergie twee contracten getekend om samen te werken aan oplossingen om communaal zuiveringslib meer circulair en duurzaam te verwerken; een verwerkingscontract en een ontwikkeltraject. In het verwerkingscontract is de verwerking van 70.000 ton ontwaterd slib per jaar tot 2032 geregeld door biologisch drogen bij GMB op haar bestaande verwerkingslocatie in Zutphen. Door compostering wordt het slib biologisch gedroogd tot biogranulaat dat wordt gebruikt als biobrandstof voor de opwekking van duurzame energie. Daarnaast wordt in het droogproces ammoniumsulfaat teruggewonnen, dat lokaal door boeren als stikstofrijke meststof wordt gebruikt.

In het ontwikkeltraject wordt tot 2032 onderzocht hoe in de periode vanaf 2032 de ambitie van het waterschap kan worden ingevuld om het slib meer circulair en duurzamer te verwerken. Daarbij wordt gekeken naar de mogelijkheid om waardevolle grondstoffen uit het slib terug te winnen en de CO₂-voetafdruk te verkleinen. Uitgangspunt is dat de toekomstige slibverwerkingsketen een zo klein mogelijke negatieve milieu-impact heeft. Royal HaskoningDHV heeft ondersteuning geboden in dit ontwikkeltraject. Dit artikel beschrijft de eerste fase van het ontwikkeltraject.

Selectieproces

In de eerste fase van het traject is stapsgewijs een brede waaier aan slibverwerkingstechnieken teruggebracht tot een aantal slibketens, die vervolgens zijn onderworpen aan een multicriteria-analyse (MCA). Eerst zijn de beschikbare technieken in beeld gebracht, zowel bestaande technieken als technieken die nog in ontwikkeling zijn. Al deze technieken zijn op basis van openbare bronnen beschreven in twintig factsheets. In deze factsheets staan onder meer Technology Readiness Level (TRL), invloed op CO₂-voetafdruk, massabalans, grondstoffenterugwinning en referentiesituatie.



Afbeelding 1. Eerste fase van het ontwikkeltraject. Beeld Anouschka Reumer

Na analyse van alle technieken vonden schiftingen plaats. De eerste belangrijke schifting is gebaseerd op het beoordelen van de TRL-waarde. Een tweede schifting vond plaats op basis van de ambitie om op termijn fosfaat terug te winnen en de randvoorwaarde dat de milieubelasting niet groter wordt ten opzichte van de referentiesituatie (biologisch drogen en monoverbranding bij EEW). Na de schifting bleven er elf technieken over waarmee slibketens zijn opgesteld. Een slibketen kan bestaan uit één techniek (directe monoverbranding zonder externe droogstap) of meerdere technieken (drogen op één locatie en thermisch verwerken van het gedroogde slib op een andere locatie). Uit de elf losse technieken zijn acht slibketens opgesteld.

TRL als streng filter

De beschreven technieken zijn beoordeeld op hun Technology Readiness Level (TRL), een instrument dat de laatste jaren zijn intrede heeft gedaan in de afvalwatersector. TRL geeft het ontwikkelstadium aan waarin een techniek zich bevindt. Er worden negen niveaus onderscheiden. Hoe hoger het niveau, hoe dichter de techniek bij 'marktvolwassenheid' zit. Bij het beoordelen van de TRL zijn in het ontwikkeltraject de volgende eisen gesteld aan de techniek:

- getest met zuiveringsslib van een communale rwzi;
- getest bij continue bedrijfsvoering door alle seizoenen heen;
- praktische ervaring opgedaan onder vergelijkbare omstandigheden als in Nederland;
- meerdere slibverwerkingstechnieken produceren als bijproduct een complexe afvalwaterstroom of vragen om meer aandacht voor het voorkomen van luchtmissies. Voor de TRL is het daarom van belang dat alle bijbehorende processen op de juiste schaalgrootte volledig geïntegreerd met elkaar zijn getest.

Om de installatie tijdig (in 2032) in bedrijf te hebben, dient een techniek in 2027 tenminste TRL 7 te zijn. Het projectteam heeft ook een aantal veelbelovende technieken met TRL 6 meegenomen in de beoordeling. Alle andere technieken zijn voorlopig op een parkeerlijst geplaatst.

Brede waaier aan technieken

Ten behoeve van het ontwikkeltraject zijn 20 slibverwerkingstechnieken geïnterpreteerd, verdeeld in vier groepen: drogen, verbranden, chemische verwerking en thermische verwerking op basis van temperatuur en/of druk.

Voor het drogen van slib zijn meerdere droogtechnieken beschikbaar op de markt. Met biologisch drogen is in Nederland veel ervaring opgedaan op de twee installaties van GMB te Zutphen en Tiel. Hiermee wordt het slib gedroogd tot 65% drogestofgehalte met de warmte die vrijkomt bij de omzetting van organische stof. Kasdrogen is een alternatief dat in Duitsland regelmatig wordt toegepast. Daarbij wordt slib gedroogd tot circa 70% in de zon en er is doorgaans aanvullend een externe warmtebron nodig. Met banddrogers is het mogelijk om slib te drogen tot 90%. Hiervoor is een externe warmtebron noodzakelijk. Hiervoor kan ook restwarmte van industrie of afvalverbranders worden gebruikt.

Droging bij een lage temperatuur (30 tot 40 °C) tot 80-90% droge stof met een elektrisch aangedreven warmtepomp is een recente ontwikkeling met enkele referenties op zuiveringslib in Europa. Drogen met gas is niet in de beschouwing meegenomen omdat deze techniek vanwege de uitfasering van fossiel gas en kostenoverwegingen in Nederland wordt uitgefaseerd. De laatste onderzochte mogelijkheid voor het verder ontwateren tot 40-50% droge stof is elektro-osmotisch ontwateren. Vanwege het ontbreken van praktijkervaring in Nederland (TRL <6) is deze techniek afgefallen.

Verbranden is in Nederland de meest toegepaste slibeindverwerking. In Nederland is ruime ervaring met monoverbranding (zoals bij de twee installaties in Nederland, SNB en HVC) van zuiveringslib en met het meeverbranden van slib in afvalenergiecentrales en cementovens. Vanwege het vervallen van de mogelijkheid om fosfaat te kunnen terugwinnen is meeverbranden niet beoordeeld. Voor monoverbranding is naast de grootschalige toepassing van wervelbedovens gekeken naar trommelovens. Deze trommelovens krijgen momenteel in Duitsland veel aandacht voor verbrandingsinstallaties op kleinere schaal (< 100.000 ton ontwaterd slib).

In de groep thermische technieken is een breed scala aan technieken geïnterpreteerd, die variëren in temperatuur en/of druk. In tabel 1 worden de verschillende kenmerken gepresenteerd. Bij pyrolyse wordt voorgedroogd slib (tot 80%) ontgast en gecarboniseerd tot een biochar bij 500-700 °C zonder toevoeging van zuurstof. Vooral in Duitsland zijn meerdere referenties op praktijkschaal in gebruik en in Denemarken neemt het aantal installaties toe. In Duitsland is het echter nog niet toegestaan om biochar als grondverbeteraar in te zetten. Omdat het product dat vrijkomt uit zuiveringslib slechts circa 20% organische stof bevat, wordt door specialisten steeds meer gesproken over carbonaatas in plaats van biochar. De techniek van Pyreg, waarmee in de praktijk de meeste installaties zijn gerealiseerd, heeft dienst gedaan als referentie voor pyrolyse in dit ontwikkeltraject. Tijdens het proces van vergassing worden organische stoffen in het slib bij 850-900 °C omgezet in syngas en het inerte materiaal in as. Het syngas kan worden benut voor de opwekking van elektriciteit en/of warmte. Op basis van openbaar beschikbare informatie werd een hoog TRL verwacht. Na een locatiebezoek bleken echter niet alle referentie-installaties meer in bedrijf, of waren er lange periodes van uitbedrijfname. Daarom is vergassing in dit traject afgefallen als optie.

Er zijn vier technieken, variërend in temperatuur en druk, te onderscheiden: Torwash, hydrothermale carbonisatie (HTC), hydrothermale liquefactie (HTL) en superkritisch vergassen.

Tabel 1. Kenmerken thermische technieken

Techniek	Temp. (°C)	Druk (bar)	Eindproduct
Torwash	180-210	<25	filterkoek (50% DS)
HTC	180-280	20-24	hydrochar (60% DS)
HTL	300-350	220	bio-olie
Kraken met microgolven	350	-	bio-olie
Superkritisch	>375	220	groen gas
Pyrolyse	500-700	-	carbonaatas
Vergassing	850-900	-	Syngas

Met Torwash loopt, na een pilot op de rwzi Almere, tot mei 2024 een demonstratieproject op de rwzi Land van Cuijk, waarmee de technologie conform de definitie van dit ontwikkeltraject een TRL van 6 bereikt. Reden dat het nu niet TRL 7 wordt, is het gegeven dat de zuivering van het resulterende afvalwater nog niet in de juiste schaalgrootte op een geïntegreerde manier is meegetest. Daarnaast is nog onderzoek nodig naar de eindverwerking van de resterende slibkoek. HTC is vergelijkbaar met Torwash, maar vindt meer batchgewijs plaats ten opzichte van de continue reactor van Torwash. Bij beide technieken wordt gebruik gemaakt van een kamerfilterpers en beide zijn in staat het slib vergaand te ontwateren (tot circa 50% DS). HTC kent meerdere leveranciers in Europa, maar de techniek is de laatste tien jaar op een TRL van 6 blijven steken voor toepassing op zuiverings-slib. De eindproducten van Torwash en HTC kunnen waarschijnlijk worden ingezet als biobrandstof. Bij HTL zijn de temperatuur en vooral de druk fors hoger. Onder deze omstandigheden ontstaat een olie die mogelijk gebruikt kan worden als vervanging voor fossiele brandstoffen in bijvoorbeeld de petrochemische industrie. In 2024 start in Denemarken een demonstratieproject om TRL 7 te bereiken. Hierbij zal ook aandacht worden besteed aan de behandeling van het complexe afvalwater dat bij deze techniek ontstaat.

Superkritisch vergassen heeft de afgelopen jaren veel aandacht gekregen. Voor deze techniek, die onder hoge druk en temperatuur groen gras produceert, zal meer onderzoek moeten plaatsvinden naar de benodigde voorbehandeling, netto energieverbruik en de omgang met zouten in slib.

Net als bij het drogen van slib geldt voor de meeste thermische-druktechnieken dat het een voorbehandelingsproces betreft, waarbij naast het thermische hoofdproces nog een eindverwerking of nuttige toepassing voor de eindproducten moet worden gevonden. Verder zal meer onderzoek moeten plaatsvinden naar samenstelling en behandeling van de vrijkomende afvalwaterstromen. De impact van dit aspect op de algehele haalbaarheid mag niet worden onderschat.

Een alternatieve techniek waarbij voornamelijk bio-olie als eindproduct ontstaat, is het kraken op basis van microgolven. Deze techniek bevindt zich voorlopig nog in het beginstadium van de ontwikkeling richting praktijk (TRL<6).

Ten slotte wordt de MidMix-technologie besproken. Door gecontroleerde menging met ongebluste kalk wordt het ontwaterde slib via een exotherme reactie verder gedroogd en wordt alle vaste stof en een deel van het water gebonden en ingekapseld. Het eindproduct van dit proces heet Neutral. Omdat de MidMix-technologie op basis van Neutral niet aan de minimumstandaard voor verwerking van zuiverings-slib voldoet, moet het geproduceerde Neutral verder worden opgewerkt. De hiervoor beschikbare opwerktechnieken scoren nu nog lager dan TRL 7. MidMix is niet verder meegenomen omdat er geen fosfaat uit het eindproduct terug kan worden gewonnen.

Toch weer de bewezen slibverwerkingsroutes

Hoewel een grote verscheidenheid aan slibverwerkingstechnieken is beoordeeld, zorgden het TRL-filter en de gestelde randvoorwaarden dat de nu meest gangbare technieken zijn overgebleven voor het opstellen van slibketens (tabel 2). Alleen pyrolyse (ketennummer K8) heeft het gered als alternatief voor verbranding. Hieruit is op te maken dat de meeste slibketens bestaan uit monoverbranding en een principe van voordroging. Een belangrijk uitgangspunt voor de beoordeling van de ketens was dat de vrijkomende warmte bij de verbranding wordt ingezet als warmtebron voor een lokaal warmtenet (bestaand of in ontwikkeling). Voor het verder thermisch drogen van het biologisch gedroogde slib op de locatie van GMB is voldoende restwarmte uit het eigen drogingsproces beschikbaar. Voor de monoverbranding is onderscheid gemaakt in verwerking op centraal of decentraal niveau. Centraal met een wervelbedoven betekent op het niveau van meerdere waterschappen (K5 t/m K7). Decentraal met een trommeloven betekent op het niveau van Waterschap Vallei en Veluwe (K1 t/m K4). Slibketen K6 betreft de referentiesituatie die vanaf 2024 zal ontstaan.

Tabel 2. Opgestelde slibketens

Slibketen	Gekozen technieken		
K1			Trommeloven decentraal (EuPhore)
K2			Trommeloven decentraal (Werkstätten)
K3	Biologisch drogen (GMB)		Trommeloven decentraal (Werkstätten)
K4	Biologisch drogen (GMB)	Thermische banddroger	Trommeloven decentraal (Werkstätten)
K5	Lage-temperatuurdroging (Watropur)		Wervelbedoven centraal (EEW)
K6	Biologisch drogen (GMB)		Wervelbedoven centraal (EEW)
K7	Biologisch drogen (GMB)	Thermische banddroger	Wervelbedoven centraal (EEW)
K8		Thermische banddroger	Pyrolyse (Pyreg)

Gedegen multicriteria-analyse

Voor het ontwikkeltraject is een multi-criteria-analyse (MCA) opgesteld waarbij is gestreefd naar een zo objectief mogelijke beoordeling en vergelijking van de slibketens. In de MCA zijn zes criteria meegenomen: CO₂- en energiebalans, betaalbaarheid, betrouwbaarheid, kans op vergunbaarheid, toekomstbestendigheid en grondstoffenpotentie.

CO₂- en energiebalans: voor alle slibketens is een langcyclische CO₂-balans opgesteld op basis van energieverbruik, energieproductie en bruto energie-inhoud van alle hulpstoffen. Er is dus geen rekening gehouden met de directe CO₂-emissie van de slibverwerking, maar er is wel een inschatting gemaakt van de N₂O-emissies. De energiebalans is omgezet naar CO₂-equivalenten en de methodiek en werkwijze zijn getoetst door CE Delft. Als uitgangspunt voor het energieverbruik is gekozen voor de gemiddelde Nederlandse mix.

Betaalbaarheid: vooraf was de ambitie om een verwerkingstarief per ton slib vast te stellen. Deze ambitie bleek niet haalbaar omdat een marktpartij zonder concrete vraag niet in de gelegenheid is om een realistische kostenopgave te overleggen, waardoor de onnauwkeurigheid te groot wordt om een objectieve kostenvergelijking te maken. Daarom is besloten de betaalbaarheid alleen te toetsen door de financiële risico's in kaart te brengen. Het gaat dan om de mogelijke intrede van een afvalstoffenbelasting voor zuiveringsslib, het van kracht worden van een CO₂-heffing en de mate van conjunctuurgevoeligheid voor de benodigde hulpstoffen en energie.

Betrouwbaarheid: voor het toetsen van de betrouwbaarheid is gekeken naar de continuïteit die per slibketen geleverd kan worden. Daarbij is gelet op de verwachte storingsgevoeligheid van het systeem en de mate van redundantie die ingebracht kan worden. Daarnaast is gekeken naar de mogelijkheid om in te spelen op seizoensinvloeden, wisselingen in aanbod en kwaliteit van het slib, en de mate van complexiteit voor de bedrijfsvoering. Voor de beoordeling heeft een panel van experts van diverse organisaties in de sector, aan de hand van een vragenlijst een beoordeling opgesteld.

Kans op vergunbaarheid: hierbij is gekeken of de slibketen op korte termijn voldoet of kan voldoen aan tenminste de minimumstandaard voor de verwerking van zuiveringsslib conform het Landelijk afvalbeheerplan (LAP3). Bovendien is beoordeeld of de beoogde locatie bij GMB in Zutphen of een van de rwzi's van het waterschap ruimtelijk bestemd is, of mogelijk al vergund (via de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht) voor de activiteiten van de beoogde slibketen. De beoordeling heeft plaatsgevonden op basis van expert judgement door specialisten op het gebied van vergunningen.

Toekomstbestendigheid: de toekomstbestendigheid van een slibketen is beoordeeld op de mate waarin mogelijke toekomstige veranderingen opgevangen kunnen worden. Dit kunnen veranderingen zijn in de markt (vergroten capaciteit door hoger slibaanbod), veranderingen in wet- en regelgeving (zoals de invloed van zeer zorgwekkende stoffen) en veranderingen in technologische ontwikkelingen (flexibiliteit in adopteren van nieuwe technologie). Net als bij de betrouwbaarheid is de toekomstbestendigheid door een expertpanel beoordeeld.

Grondstoffenpotentie: het beoordelen van dit criterium was niet eenvoudig. De beoogde methode op basis van de Resource Maturity Index (ontwikkeld door Royal HaskoningDHV en KWR voor het project Aarhus ReWater) heeft inzichten opgeleverd, maar bood nog niet de mogelijkheid om voor de MCA een goede beoordeling op te stellen. Gezien het feit dat de meeste opgestelde slibketens uitgaan van een combinatie van droging en verbranding, zijn ze vergelijkbaar wat betreft terug te winnen grondstoffen, namelijk fosfor, stikstof (ammoniumsulfaat) en CO₂. Op basis van expert judgement heeft de uiteindelijke beoordeling plaatsgevonden, waarbij de potentiële terugwinning van fosfor de hoogste prioriteit kreeg (0,7), gevolgd door stikstof (0,2) en CO₂ (0,1). Omdat de carbonaatas uit pyrolyse momenteel geen gereguleerde afzet kent, is dit niet als mogelijke grondstof gewaardeerd.

Bij het uitvoeren van de beoordeling zijn alle scores genormaliseerd naar een waarde tussen 0 en 1 en de genormaliseerde waarde is vermenigvuldigd met de vooraf toegekende weegfactor (tabel 3). Hier is te zien dat de CO₂- en energiebalans de hoogste weegfactor heeft gekregen, gevolgd door betrouwbaarheid. Betaalbaarheid heeft, enigszins opvallend, de laagste weegfactor gekregen.

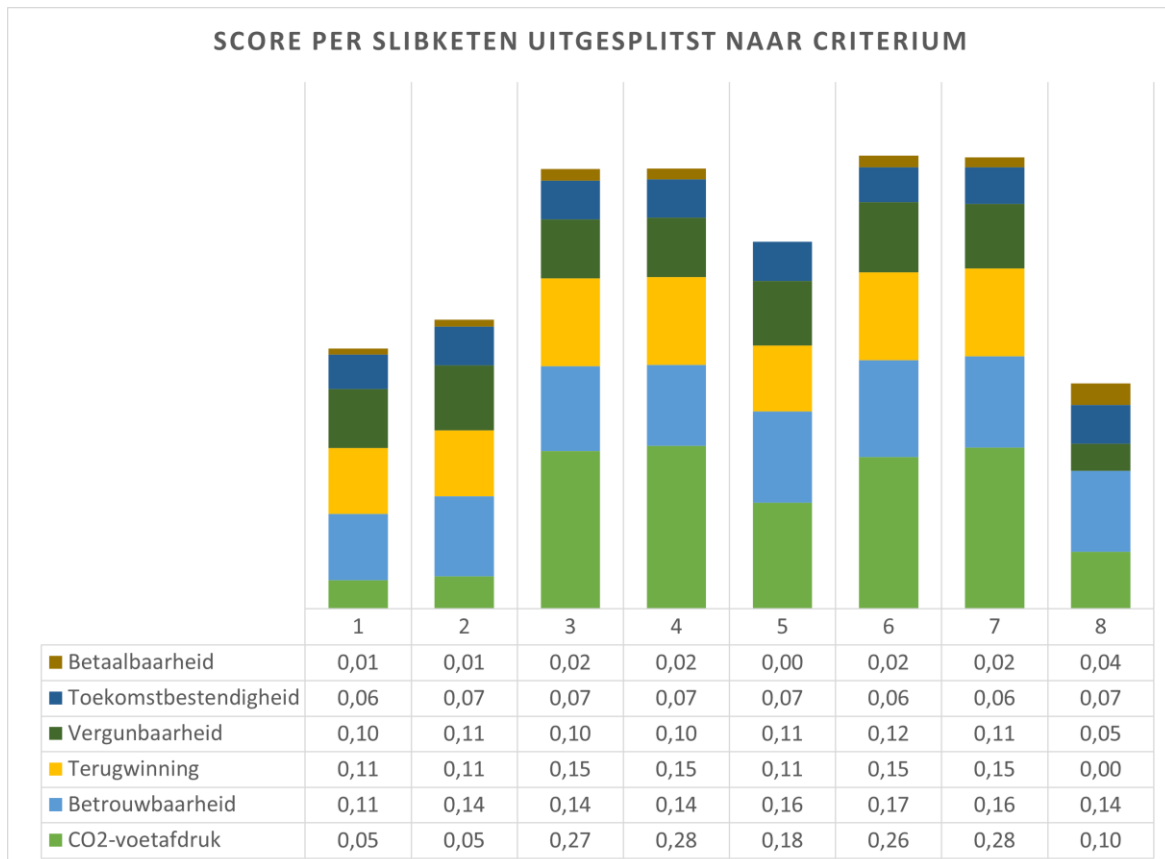
Tabel 3. Weegfactoren voor de MCA

criterium	Weefactor (%)
CO ₂ - en energiebalans	28
Betrouwbaarheid	26
Grondstoffenpotentie	15
Kans op vergunbaarheid	12
Toekomstbestendigheid	12
Betaalbaarheid	7

Voorlopig eindresultaat

Na alle slibketens met de MCA te hebben beoordeeld is het voorlopige eindresultaat van fase 1 gepresenteerd in afbeelding 2. Wat betreft eindscore is duidelijk te zien dat de ketens K3, K4, K6 en K7 zich onderscheiden van de overige ketens. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de verschillen in CO₂-voetafdruk. Het betreft bij al deze ketens een combinatie van biologische droging en monoverbranding, met wel of geen extra stap van thermische droging na de biologische droging. Dat de extra thermische droging geen verder onderscheid maakt, komt doordat de restwarmte die daarvoor nodig zou zijn, alsnog benut kan worden in een warmtenet. In vergelijking met K1 en K2 wordt duidelijk dat voordroging energetisch gunstig is als wordt uitgegaan van benutting van de vrijkomende warmte bij de verbranding.

Uit een gevoeligheidsanalyse is gebleken dat wanneer de warmte niet volledig wordt benut, alle slibketens dichter bij elkaar komen qua uitslag, maar de ranking ongewijzigd blijft. In een gevoeligheidsanalyse waarbij het uitgangspunt van de gemiddelde Nederlandse energiemix is gewijzigd naar een groene mix, stijgt slibketen K5, met gebruik van elektrische droging, naar de eerste positie. Richting de toekomst is het daarom raadzaam om deze ontwikkeling nauwlettend te volgen. De slibketen met pyrolyse (K8) staat duidelijk op de laatste plaats. Enerzijds omdat geen score ontstaat op grondstoffenpotentie, maar vooral ook omdat de claim van een 'CO₂-sink' niet gewaardeerd kan worden, omdat het simpelweg niet is toegestaan carbonaatas als grondverbeteraar te gebruiken. Als wordt ingezoomd op wat de doorslag heeft gegeven bij de ranking tussen de vier onderscheidende slibketens, zijn dat vooral de scores op betrouwbaarheid en vergunbaarheid, die beide op basis van expert judgement zijn bepaald. Slibketens waar meer ervaring mee is krijgen toch een hogere score ten opzichte van slibketens waarmee nog ervaring moet worden opgebouwd. Slibketen K6, die als referentie geldt, blijft voorlopig de slibverwerkingsroute met de hoogste score.



Afbeelding 2. Resultaat van de MCA voor het vergelijken van de opgestelde slibketens

Dankwoord

Naast de auteurs van dit artikel hebben Jörgen Verschoor, Coert Petri (Waterschap Vallei en Veluwe), Marc Bennenbroek en Richard Ranter (GMB BioEnergie) een belangrijke bijdrage geleverd aan het ontwikkeltraject. Tevens gaat dank uit naar een expertteam bestaande uit Cora Uijterlinde (STOWA), Aalke de Jong (AquaMinerals), Isabel Nieuwenhuijse (CE Delft), Leon Korving (Aiforo) en Ad de Man (Waterschapsbedrijf Limburg).

Referenties

Alle slibverwerkingstechnieken zijn omschreven met behulp van factsheets. Deze kunnen worden opgevraagd door een verzoek te sturen naar jfranken@vallei-veluwe.nl