

Stank de grond in!

**De mogelijkheden voor oplossen van
luchtkwaliteitsproblemen door gebruik van
reactieve eigenschappen in de bodem.**

Niels Hartog
Rob Nieuwenhuis

Titel

Stank de grond in! De mogelijkheden voor oplossen van luchtkwaliteitsproblemen door gebruik van reactieve eigenschappen in de bodem.

Opdrachtgever

SKB

Kenmerk

0015

Pagina's

12

Samenvatting

In dit evaluatierapport worden de activiteiten en resultaten van een eerste verkenning naar de mogelijkheden om de filterende werking van de natuurlijke bodem toe te passen in het oplossen van luchtkwaliteitsproblemen. Verder wordt er een doorkijk geboden naar de mogelijkheden voor concretere uitwerking van dit thema.

Projectnummer

092.81117

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	2009-02-16	Niels Hartog		Geiske Bouma		Huub Rijnaarts	

Status

definitief

Voorwoord

“Stank de Grond in” is de titel van een projectidee van Deltares dat is ingediend bij SKB. Deze titel schetst heel kort de kern van het idee, namelijk het effectief inzetten van de reactieve eigenschappen van de bodem voor het oplossen van het knelpunt van diverse emissies naar de lucht.

Na indiening van het projectidee “Stank de Grond in!” heeft SKB een aangepaste uitvoering gehonoreerd met een grant. De bijdrage van SKB maakte het mogelijk een eerste verkenning uit te voeren van de mogelijkheden om de filterende werking van de natuurlijke bodem toe te passen in het oplossen van luchtkwaliteitsproblemen. Hierbij zijn kansen en knelpunten, zowel verwacht als onverwacht aan het licht gekomen.

In dit evaluatierapport worden de activiteiten en resultaten van de verkenning beschreven. Verder wordt er een doorkijk geboden naar de mogelijkheden voor concretere uitwerking van dit thema.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
2 Aanpak project	2
3 Inzicht in kansen en knelpunten voor verbinding	3
3.1 Bodemwereld	3
3.2 Luchtwereld	3
3.3 Kansen en Knelpunten	4
4 Conclusies en vooruitblik	6
4.1 Conclusies	6
Bijlage(n)	
A Abstract voor het 1st international conference BioGeoCivil Engineering	9

1 Inleiding

“Stank de Grond in” is de titel van een projectidee van Deltares dat is ingediend bij SKB. Deze titel schetst heel kort de kern van het idee, namelijk het effectief inzetten van de reactieve eigenschappen van de bodem voor het oplossen van het knelpunt van diverse emissies naar de lucht.

Na indiening van het projectidee “Stank de Grond in!” heeft SKB een aangepaste uitvoering gehonoreerd met een grant. De bijdrage van SKB maakte het mogelijk een eerste verkenning uit te voeren van de mogelijkheden om de filterende werking van de natuurlijke bodem toe te passen in het oplossen van luchtkwaliteitsproblemen. Hierbij zijn kansen en knelpunten, zowel verwacht als onverwacht aan het licht gekomen.

In dit evaluatierapport worden de activiteiten en resultaten van de verkenning beschreven. Verder wordt er een doorkijk geboden naar de mogelijkheden voor concretere uitwerking van dit thema.

1.1 Achtergrond

Onvoldoende goede luchtkwaliteit is een actueel onderwerp in relatie tot volksgezondheid en zorgt voor spanningen tussen de functies werken, wonen en recreëren enerzijds en industrie, verkeer en landbouw anderzijds. Aanleiding voor het voorstel voor het projectidee is de constatering geweest dat het benutten van de filterende eigenschappen van natuurlijke bodem mogelijk een oplossing zou kunnen bieden voor een deel van deze problematiek. Met de actieve benutting van de reactieve eigenschappen van de bodem, wordt een additionele functie voor de bodem gecreëerd. Dit past binnen de trend om vanuit een breder perspectief naar de kansen van de bodem en ondergrond te kijken. Een voorbeeld daarvan is de sterke opkomst van de benutting van de bodem voor warmtewinning of tijdelijke opslag van warmte en koude.

Naast het bredere perspectief op bodem/ondergrond helpt ook de toegenomen stand van kennis over bodemprocessen bij de acceptatie van dit concept. Verder heeft het concept een link met de klimaatdiscussie, waarbinnen het besef dat verschillende milieucompartmenten een sterke onderlinge samenhang vertonen sterker is geworden.

Tijdens de uitvoering van het projectidee “Stank de Grond in!” is onderzocht of het mogelijk is om de bodem te benutten voor het zuiveren/reinigen van luchtmissies die tot luchtkwaliteits- en stankoverlastproblemen leiden. Om dit mogelijk te maken zijn er tussen de compartimenten lucht en bodem verbindingen nodig. Compartimenten die zowel vanuit milieutechnisch als beleidsmatig oogpunt als strikt gescheiden gezien worden.

2 Aanpak project

Het project is gestart in december 2007. Hieronder volgt een chronologisch overzicht van de activiteiten die we in relatie tot het idee “Stank de Grond in” hebben ondernomen. Op basis van de ervaringen en verbeterde inzichten die hieruit voortkwamen is deze rapportage tot stand gekomen.

- 20 januari 2008: met steun van voorzitter Anne Kamphuis, hebben we het idee kunnen presenteren tijdens een bijeenkomst van de initiatiefgroep Luchtkwaliteit van het COB. Hierbij waren adviesburo's, gemeenten en verscheidene afgevaardigden van RWS aanwezig (IPL en Bouwdienst).
- Februari 2008: Gesprekken met experts van TNO Luchtkwaliteit (Jan Duyzer en Marita Voogt) over de technische mogelijkheden voor de koppeling tussen bodemreactiviteit en luchtkwaliteit.
- Maart 2008: Schrijven en indienen van voorstel voor IPL prijsvraag 'Frisse kijk op luchtkwaliteit' in samenwerking met TNO Luchtkwaliteit (Jan Duyzer).
- 20 maart 2008: Presentatie van idee en discussie bij SenterNovem met Fred Mudde van Bodem+ en Andre Peeters van Infomil.
- April 2008: Schrijven en indiening paper voor “1st international conference BioGeoCivil Engineering” (Bijlage A).
- 25 juni 2008: Presentatie en discussie van “Making better use of soils: From in situ remediation to in situ utilization”. Het idee “Stank de Grond in” was hierin een belangrijk onderdeel.

3 Inzicht in kansen en knelpunten voor verbinding

Bij het verkennen van de mogelijkheden hebben we getracht de “bodemwereld” en “luchtwereld” te verbinden. Als bodemprofessionals zijn wij geneigd vanuit het belang voor de bodem te redeneren, terwijl voor luchtprofessionals dat belang niet leidend is. Om verbindingen te kunnen maken is het dus belangrijk om aan te sluiten bij de perspectieven, drijfveren en behoeftes van beide werelden.

3.1 Bodemwereld

Van oudsher verzorgt de bodem de “drager”-functie (voor bv. woningbouw en infrastructuur) en de functie als basis van de voedselketen. In de laatste decennia wordt de fysieke ruimte die de bodem biedt steeds meer benut, zoals bijvoorbeeld voor ondergronds bouwen, warmte/koude en CO₂ opslag. Wat betreft de chemische eigenschappen wordt er vooral het belang van het beschermen of schoonmaken van de bodem erkend vanuit de maatschappij en benadrukt door wetgeving. De reactieve eigenschappen van de bodem dragen bij aan de rol van de bodem als “natuurlijk filter” van verontreinigingen. Van deze rol wordt tot nu toe alleen op een passieve wijze geprofiteerd. Op plekken waar de bodem door (historische) activiteiten verontreinigd is geraakt, wordt de afbraak van verontreinigende stoffen gemonitord en waar nodig gestimuleerd. De reactiviteit van de bodem wordt niet actief ingezet om van verontreinigingen in andere compartimenten af te komen. Toch zou bij het zoeken naar oplossingen voor maatschappelijke problemen in andere compartimenten zoals lucht, de reactiviteit van de bodem kunnen worden ingezet. Hiermee vergroot je de maatschappelijke waarde van de bodem.

Bij de presentatie van bovenstaand perspectief op het SIKB-congres (september 2007) bleek dat het idee veel reacties en initieel vooral weerstand vanuit de bodemwereld oproept. Het idee achter “Stank de Grond in!” vereist dan ook een paradigmaverschuiving in het denken van bodemprofessionals en wordt daardoor als controversieel gezien. Het idee doorbreekt het dogma waarbij de inbreng van stoffen in de bodem als gevaarlijk, niet-duurzaam of zelfs onethisch wordt beschouwd. De basis voor het ontstane dogma is duidelijk: door decennia lang onzorgvuldige omgang met de bodem is Nederland belast met een kostbare erfenis van enkele honderdduizenden gevallen van bodemverontreiniging. Sinds de jaren '80 is Nederland bezig met het opruimen van deze erfenis en het gaat minimaal tot het jaar 2015 duren voor we zo ver zijn dat alle gevallen die vanwege de risico's met spoed moeten worden aangepakt, daadwerkelijk zijn aangepakt (beleidsdoelstelling VROM).

3.2 Luchtwereld

Het voordeel van het inzetten de bodem als “reactief filter” in aanvulling op meer technologische oplossingen is dat bodem en de daarin aanwezige afbraakcapaciteit op elke locatie gemakkelijk toegankelijk is, waardoor het benutten van de bodem in potentie een zeer kosteneffectieve zuiveringsmethode biedt.

Bovenstaand perspectief is voor het eerst gepresenteerd op een bijeenkomst over luchtkwaliteit van het Centrum Ondergronds Bouwen (COB) op 18 januari 2008. De discussie die volgde, spitste zich met name toe op de uitstoot van fijn stof bij tunnelmonden. Bij de afweging van de toepassing van de bodem werd met name de het debiet aan luchtafzuiging

(>1000 kuub/uur) naar voren gebracht als praktisch bezwaar tegen het inbrengen van verontreinigde lucht in de bodem. Het alternatief van directe luchtinjectie, door de luchtverontreiniging eerst te concentreren in water door wassen werd als verbetering gezien. In vergelijking tot andere innovatieve methoden voor het afvangen van luchtverontreiniging bij tunnels als statische elektriciteit en reactieve titaniumschilden wordt het idee als weinig technologisch gezien.

De presentatie bij het COB heeft wel geleid tot het indienen van een idee voor de prijsvraag "Frisse kijk op luchtkwaliteit" van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL). Bodem- en luchtdeskundigen van Deltares en TNO hebben gezamenlijk op deze prijsvraag ingeschreven met een voorstel dat specifiek zou kijken naar de toepassing van een innovatief idee rondom de luchtkwaliteit bij snelwegen. Het beoogde project bestond uit een bureaustudie die als co-financiering voor een SKB-project zou dienen om te zoeken naar een bredere toepassing van het concept.

Bij de jurybeoordeling van de IPL prijsvraag is het idee "Stank de Grond in" geïntegreerd in een voorstel om te verkennen of de bodem rondom tunnels te gebruiken als filter voor NOx en fijnstof die nu uit tunnelafzuigingen vrijkomt. Het voorstel is als 10^e geëindigd van tenminste 18 deelnemers. Dit bleek onvoldoende om in aanmerking te komen voor honorering. De 7 gehonoreerde ideeën waren allen technologisch (niet conceptueel) van aard en voornamelijk gericht op schermtechnologieën. In de reactie van de jury werd de parallel getrokken met het zuiveren van oppervlaktewater in de duinen. Men vond het een interessant idee, maar verwachtte niet dat het binnen vijf jaar technisch haalbaar zou zijn. De grootste toepassingsmogelijkheid werd gezien bij tunnellocaties.

Bij de discussie die volgde na een presentatie op het "1st International conference BioGeoCivil Engineering" (Bijlage A) waren er optimistische en pessimistische reacties uit de zaal op de haalbaarheid van "Stank de Grond in". De positieve reacties belichten de nieuwe mogelijkheden die ontstaan door onverwachte verbindingen tussen compartimenten aan te gaan en het feit dat de bodem overal op aarde relatief makkelijk toegankelijk is. De pessimistische reacties richten zich op het feit of het gebruik van bodemreactiviteit werkelijk duurzaam kan zijn. Hierop volgde een discussie over de tijdschalen waarop die duurzaamheid beschouwd zou moeten worden, decennia, eeuwen millennia en of de huidige kennis van de bodem toereikend was.

3.3 Kansen en Knelpunten

Om de mogelijke toepassing van bodemreactiviteit ter verbetering van luchtkwaliteit breder te verkennen, is een inventariserend gesprek aangegaan met SenterNovem. Dit omdat daar zowel vanuit de kant van lucht als bodem kennis aanwezig is van de problematiek (de markt), de oplossingen en wetgeving en beleid. Bij dit gesprek was een SenterNovem medewerker vanuit de bodemhoek (Bodem+) en de luchthoek (Infomill) aanwezig, iets waarvan zij aangaven dat dit op zich al ongebruikelijk was. Inhoudelijk zijn, zowel de problemen met betrekking tot luchtkwaliteit door verkeer (bijvoorbeeld de uitstoot van fijn stof bij tunnels) als stankoverlast zoals vanuit de veehouderij besproken. Naar aanleiding van dit gesprek is een overzicht gemaakt van kansen en bedreigingen bij het gebruiken van bodemreactiviteit ter verbetering van luchtkwaliteit (Tabel 1).

	Kansen	Knelpunten
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> • Er kan een relatie gelegd worden met bovengrondse functies • De bodem krijgt een aanvullende functie die maatschappelijke meerwaarde oplevert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bodembeleid en huidige wetgeving zijn gericht op het voorkomen dat stoffen in de bodem terecht komen. • Bodemprofessionals zijn traditioneel gericht op beschermen en reinigen, niet op benutten en gebruiken van de bodem en ondergrond
Lucht	<ul style="list-style-type: none"> • Kleinere specifieke industrieën met productieprocessen met heldere luchtstromen, zoals polystyreen fabrieken (styreen), spuitrijen (bv. esters). • Industrieën met lage uitstootconcentraties waarvoor naverbranding te kostbaar of niet rendabel is. • Kosteneffectief alternatief voor sommige huidige technieken. • Stoffen eerst overbrengen en concentreren in de waterfase is wellicht interessant om nadelen van grote luchtvolumes te ondervangen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ondermeer door sterk verdunningsgerichte mitigatie, het gaat om grote lucht volumes (>1000m³/uur). • Emissie uit verbrandingsinstallaties bevatten een cocktail aan stoffen, met een hoger bodemverontreinigingsrisico. • Lucht/water in de bodem brengen kost energie/geld. Hoe weegt het op tegen de alternatieve luchtreinigingsmethoden. • Als stoffen eerst worden overgebracht in de waterfase, moet de inbreng in de bodem concurreren met andere zuiveringstechnieken.

Tabel 3.1 Huidige evaluatie van kansen en knelpunten voor het benutten van de natuurlijke reactiviteit van bodem ter verbetering van luchtkwaliteit.

4 Conclusies en vooruitblik

4.1 Conclusies

In de bodemsector zijn we meer en meer gewend om bodembeheer geïntegreerd te zien in ruimtelijke ordening als onderdeel van locatie- en gebiedsontwikkeling, met koppeling van bovengrondse en ondergrondse functies. De ervaringen uit de praktijk met bodemverontreinigingen en bodemsaneringen van de afgelopen decennia en de kennis die is opgebouwd over het gedrag en het inbrengen van stoffen in de bodem kan ons helpen die integrale benadering verder te ontwikkelen en te verbreden met toepassingen die leiden tot verbetering van luchtkwaliteit. Met het toenemende ondergrondse ruimtegebruik zullen de mogelijkheden hiervoor naar verwachting verder toenemen. De grote aanpassingen die nodig zijn met betrekking tot klimaatadaptatie, efficiëntere ruimtelijke ordening en verbetering van de kwaliteit van leven zullen hier sturend in zijn.

De mogelijkheden voor koppelingen tussen de compartimenten lucht en bodem, waarbij bodemreactiviteit gebruikt wordt om luchtkwaliteit te verbeteren, zijn verkend. Daarbij valt een aantal belangrijke karakteristieke kenmerken van beide sectoren op, die cruciaal zijn bij het beschouwen van deze mogelijkheden:

- De bodemsector heeft zich decennia lang gericht op bescherming en sanering. Het benutten van de reactiviteit van de bodem om daarmee een luchtprobleem op te lossen wordt door veel bodemprofessionals als onwenselijk of onhaalbaar gezien. Voor het concept “Stank de bodem in” betekent dit dat eventuele realisatie van het idee in kleine stappen moeten worden gezet. Dit betekent dat eerst begonnen zou kunnen worden met het inbrengen van stoffen die niet of nauwelijks milieuvreemd of milieugevaarlijk zijn.
- De luchtsector denkt voor de oplossing van de knelpunten in technologisch georiënteerde oplossingsrichtingen. De relatieve eenvoud van het concept “Stank de Bodem in” is binnen dit werkveld een “vreemde eend in de bijt”.
- De luchtsector zoekt vooral naar technologieën die onafhankelijk van locatiespecifieke omstandigheden kunnen worden ingericht, terwijl de bodemsector vaker in integrale en locatiespecifieke oplossingsrichtingen te denkt.
- Het verdunnen van verontreinigingen in de lucht is een veel toegepaste en geaccepteerde manier om norm doelstellingen te halen. Dit wordt gerealiseerd door bijvoorbeeld hogere schoorstenen en verhoogde debieten van afzuigingsinstallaties bij tunnels. Bij het concept “Stank de Bodem in” zou de omgekeerde weg moeten worden bewandeld waarbij de stofvracht niet verdund moet worden, maar juist geconcentreerd.
- In tegenstelling tot de steriele luchtomgeving vormt de bodem een reactieve omgeving. De mogelijkheden die in de bodem aanwezig zijn om afbraak- en transport processen te beïnvloeden zijn in de lucht afwezig.

De uitgevoerde verkenning heeft ertoe bijgedragen dat het inzicht is vergroot in de criteria die een introductie van het concept “Stank de Bodem in” mogelijk maken of juist bemoeilijken. Deze criteria zijn in Tabel 2 samengevat. Dit inzicht is van belang voor de keuzes die gemaakt worden bij de verdere uitwerking van het concept.

Kansrijk	Niet kansrijk
<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op terugdringen van stankemissies • Uitstoot van 1 of enkele stoffen • Lage, of te verlagen debieten • Stoffen goed oplosbaar in water • Puntbron • Installatie te integreren bij nieuwe locatieontwikkeling • Aansluiting mogelijk bij andere ondergrondse functies (bv. tunnels/parkeergarages) of activiteiten (bijvoorbeeld sanering of WKO) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op het terugdringen van emissies aan industriële verontreinigingen • Cocktail aan stoffen • Hoge debieten • Slecht oplosbaar in water • Gemengde of diffuse bron • Aanpassing bestaande installatie • Alleen bovengrondse functies

Tabel 4.1 Factoren die een kansrijk, dan wel niet kansrijk perspectief geven op de mogelijkheid de bodem als reactief filter voor luchtkwaliteitsverbetering te gebruiken.

Vooruitblik

De factoren in Tabel 2 komen grotendeels voort uit de beschouwing van de huidige perceptie in de bodemwereld en de luchtwereld, alsmede de ruimte binnen de huidige wet- en regelgeving. Daarnaast zijn het praktische factoren die tijdens de verkenning naar voren zijn gekomen die van invloed zijn op de haalbaarheid en/of kosteneffectiviteit van de toepassing. Dit betekent dat de verdere ontwikkeling van het idee vooral gericht moet zijn op problematieken en locaties die op veel van de genoemde criteria kansrijk zijn. Toepassingen op locaties die weinig of geen van de "kansrijke factoren" hebben, lijken voorlopig of wellicht überhaupt niet haalbaar. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vuilverbrandingsinstallaties vanwege de hoge debieten en de cocktail van uitgestoten stoffen, of aan snelwegen die eerst overkapt zouden moeten worden.

De verdere ontwikkeling van het idee kan via een aantal lijnen worden opgepakt (onder voorwaarde van voldoende financiering):

- Inhoudelijk
- Beleidsmatig
- Betrekken van probleemeigenaars

Met een eerste inzicht van de mogelijkheden en gezien de technische en beleidsmatige complexiteit die de koppeling luchtkwaliteit-bodem met zich mee brengt, ligt de focus voor het vervolg wat betreft inhoudelijke aspecten op de volgende onderwerpen:

- Uitlaatgassen die vrijkomen bij lokale bronnen (tunnels, parkeergarages)
 - Stank

De problematiek omtrent **uitlaatgassen** heeft een grote maatschappelijke relevantie. Van de bestanddelen die zich in uitlaatgassen bevinden, is de filterende werking van de bodem op NO_x de meest voor de hand liggende. De filterende werking van fijnstof is van fysische aard en lastiger te meten. Daarnaast is fijnstof van nature ook in bodems aanwezig waardoor er moeilijk onderscheid gemaakt kan worden. Aangezien tunnels en parkeergarages zich

ondergronds bevinden en als puntbronnen beschouwd kunnen worden, verhoogt dit de mogelijkheden voor het realiseren van een koppeling met bodemreactiviteit.

Wat betreft **stank** is er maatschappelijk gezien mogelijk minder weerstand dan tegen het in de bodem brengen van wat als verontreinigende stoffen gezien worden. De componenten die stank veroorzaken zijn divers, afhankelijk van de bron en komen meestal voor in slechts zeer lage concentraties. Hierdoor is naverbranding kostbaar of niet rendabel.

Om de toepassingsmogelijkheden verder in te kaderen, is het van belang een verkenning uit te voeren die vragen, mogelijkheden en bezwaren bij beleid en markt inventariseert. Hierbij wordt gedacht aan:

- Beleidsanalyse, welke mogelijkheden zijn er binnen de huidige wetgeving voor de koppeling tussen luchtkwaliteit en bodem? Welke aanpassingen zouden meer opties mogelijk maken?
- Inventarisatie stankproblematiek, door overleggen met Nederlandse gemeenten. Hoe verhoudt de stankproblematiek in stedelijke regio's (industriële bronnen) zich met stank in landelijke regio's (agrarische bronnen)? Waar is de nood het hoogst, welke soort bodemreactiviteit zou nodig zijn en waar match dat het best?
- Inventarisatie stankproblematiek, van binnen uit bij industriële veroorzakers. Hoe richten zij hun processen in, wat en hoe groot zijn de emissies. Welke aanpassingen zouden nodig en mogelijk zijn om een koppeling met de bodem te maken?

A Abstract voor het 1st international conference BioGeoCivil Engineering

Niels Hartog, Alette Langenhoff, Jan Gerritse, Huub Rijnaarts and Jaap Olie
Deltares, Subsurface and Groundwater, P.O. Box 80015, 3508 TA Utrecht, The Netherlands

E-mail: niels.hartog@deltares.nl

Abstract Making better use of soils: From in situ remediation to in situ utilization

More and more, dealing with soil and groundwater contamination is becoming an integral part of plans for the development of industrial locations or derelict urban sites. With the increased experience in the field of in situ remediation techniques over the last two decades, soil contamination has become less of an obstacle for redevelopment, allowing more efficient and cost-effective solutions. As in situ soil and groundwater remediation technologies have become available for dealing with a wide range of contaminant and site conditions (e.g. contaminant type, geochemical status, geohydrology, land use), in situ techniques are now a mature alternative to conventional remediation approaches such as ex-situ and dig-and-dump. Most notably, it has become clear that many, different types of contaminants are attenuated in situ, through naturally occurring physical and chemical reactions, such as adsorption and oxidation-reduction processes. For example, many contaminants undergo natural biological degradation processes, depending on site conditions. The knowledge derived from studying these processes, in the laboratory and in the field, has been used to develop into enhanced in situ bioremediation techniques. A wide range of additional in situ remediation approaches, has been developed, including solvent extraction, air sparging and chemical oxidation applications. With that, it is realized that a successful approach to any in situ remediation of contaminated sites takes into account the geohydrology, geochemistry and contaminant distribution at a site, as well as the contaminant type(s). Insight in these factors allows an optimal application of one or multiple technologies from the wide range available in the in situ remediation toolbox. Besides monitoring, we have been controlling and stimulating biological and physico-chemical processes in the subsurface and have captured them in contaminant transport modeling to describe and predict the results. Nowadays, this biogeochemical engineering is being performed with a wider perspective and on larger spatial scales, allowing integrated solutions such as combining groundwater remediation with aquifer thermal energy storage.

Over the past decades, along with the development of in situ remediation approaches, a strongly increased insight of the subsurface behavior of both naturally occurring substances and contaminants has been achieved. In addition to protection and restoring soil functions the focus is shifting to how we can utilize soil from a wider environmental perspective. In addition to the traditional function of soil as a carrier of housing and infrastructure and as a base of the food chain, the subsurface is increasingly being used for the physical space it provides, for example for underground construction and CO₂ storage. So far, the biogeochemical functions of soil as a "natural filter" for the sorption and degradation of contaminants have been mainly benefited from passively. However, the reactivity of the soil can be considered for active use in the search for solutions to environmental threats in the air, such as odor in the livestock or with fine dust emissions in tunnels. There is sufficient knowledge on the biogeochemical reactivity to allow its sustainable utilization. An additional benefit of using soil as a filter is, that, at any location, its right under our feet. In this study we assess the conceptual and practical opportunities and challenges for the sustainable use of biogeochemical functions of soils in wider environmental applications.

(Niels Hartog, Alette Langenhoff, Jan Gerritse and Huub Rijnaarts, Deltares).



Fig. 1: The subsurface opportunity: finding ways to make better use of soil.