

# KNALLER OF KNEUSJE (DEEL 5)

## HET EFFECT VAN BODEMINJECTIEMACHINES OP DE BODEMSTRUCTUUR VOLGENS RECENTE WETENSCHAPPELIJKE ONDERZOEKEN

AUTEUR: VERONICA VAN AMERONGEN, GROENDIRECTIE.HOLLAND

Uit wetenschappelijke publicaties blijkt dat de bodemstructuur niet wezenlijk te verbeteren is met een bodeminjectiemachine. Het gebruik hiervan kan voor korte tijd effectief zijn, maar succes hangt ook af van het bodemtype, de huidige bodemvochtigheid en de mate van voorverdichting. De injectiemachine is wel bruikbaar wanneer een ondoordringbare laag moet worden doorboord zodat bijvoorbeeld het grondwater kan worden bereikt. Het injecteren van een (noodzakelijkerwijs) beperkte hoeveelheid substraat biedt ook geen noemenswaardige structurele oplossing voor een meer humusrijke, vochthoudende en levende bodem.

Ze zijn nog steeds in opmars en er worden soms regelrechte 'wonderen' aan toegeschreven: de bodeminjectiemachines. Maar serieuze onafhankelijke onderzoeken naar de werkelijke effecten in de bodem zijn nauwelijks gedaan, mede dankzij bezuinigingen op de wetenschap. Gegevens hierover zijn dus lastig te vinden. In de afgelopen twintig jaar zijn met name in het buitenland her en der wel een aantal, soms meerjarige onderzoeken uitgevoerd. Hieronder wordt getracht aan de hand hiervan een actueel beeld te krijgen van het wetenschappelijk gemeten effect van bodeminjecties op boom en bodem.

Om meer grip te krijgen op deze materie wordt aangeraden om mijn eerste vier artikelen hierover na te lezen in de KPB-Nieuwsbrieven 20 tot en met 23 (2004, 2005). Deel 1 licht de werking van de injectiemachines toe, de hoeveelheid druk die nodig is, natte of droge injecties, de mest- en vulstoffen en geeft een overzicht van alle firma's in Nederland met zo'n machine destijds. Deel 2 gaat over wetenschappelijke proeven en ervaringen van gebruikers. In deel 3 wordt getracht conclusies te trekken en deel 4 behandelt alternatieve methodes. Ze zijn terug te vinden op de website van Groendirectieholland of bij het WUR edepot online (<https://edepot.wur.nl/>). De hier gebruikte term bodeminjectiemachine staat officieel ook bekend als luchtcompressiemachine of de pneumatische methode. Met de machine wordt in eerste instantie de bodem open 'geploft' en vervolgens, of tegelijkertijd, worden voedings-, hulp- en/of vulstoffen in de (mogelijk) ontstane scheuren geïnjecteerd.

### Injecteren in verdichte kleigrond

Hascher en Wells hebben onderzoek gedaan naar het effect van de bodeminjectiemachine op de groei en architectuur van fijne wortels in de door injectie ontstane scheuren en openingen (Hascher en Wells 2007). Het experiment is april 2002 uitgevoerd bij tien rode esdoorns (*Acer rubrum*) van maximaal 25-30 jaar oud, die op een gemiddeld verdichte stedelijke kleigrond groeiden (1.62 g/cm<sup>2</sup>) naast een drukke weg op de Clemson University campus (U.S.A.). Hierbij is gewerkt met de injectiemachine van TerraventTM.

De bodem kreeg een van de volgende vier behandelingen: 1) Terravent-injecties, 2) Terravent-injecties, gevolgd door een vloeibare toevoeging van MycorTree<sup>®</sup> injectable, PHC (vloeibare endo- en ectomycorrhiza, bacteriën etc.), 3) enkel inbrengen van vloeibare MycorTree en 4) geen behandeling. Zeven weken na het experiment zijn verschillende wortelparameters gemeten, waaronder lengte, oppervlakte, diameterverdeling en massa. De behandeling met Terravent had geen effect op de gemeten wortelparameters. Toepassing van MycorTree ging gepaard met kleine, statistisch significante reducties in worteldiameter, wortelmassadichtheid en worteloppervlaktichtheid.

Enigszins vergelijkbare proeven op klei zijn rond 2019 gedaan in Israël in een sinaasappelboomgaard (Valencia *Citrus sinensis*) die in 2004 geplant is in de Kibboets Givat Haim Ihud (Ben-Noah *et al.* 2021). Zuurstoftekort in velden en boomgaarden is hier een bekend fenomeen, vooral bij intensieve irrigatie en kleiachtige bodems met een fijne textuur en trage interne drainage. Hoewel de zuurstofconcentratie in de bodem door de luchtinjecties licht toenam, waren de verschillen in boomgroei, opbrengst en fruitkwaliteitsparameters met een niet behandeld perceel niet significant.

## Vergelijking van diverse bodemverbeteringen in Amsterdam 1999-2008

In Geuzenveld-Slotermeer zijn bij 72 jonge haagbeuken (*Carpinus betulus* 'Fastigiata') vijf verschillende methoden van groeiplaatsverbetering toegepast. De bomen staan verdeeld over vier straten in een nieuwbouwwijk. Ze zijn geplant in 1993 in parkeerstroken onder vrijwel identieke omstandigheden. Binnen de boomspiegel van 1,7 x 1,5 meter bevindt zich bomenzand met 2,7 procent organische stof; daarbuiten vrijwel humusloos, zwaar verdicht zand met pleksgewijs voornamelijk extensieve beworteling onder het trottoir naar de achterliggende tuinen.

Verdeeld in zes groepen van twaalf bomen zijn hierbij de volgende bodemverbeteringen uitgevoerd: 1) Amsterdams bomenzand (tot 1 m uit boomspiegel aan drie zijden), 2) idem en eenmalige bemesting (1 kg NPK), 3) voedingspijlers en 'ploffen' in combinatie met eenmalige bemesting, 4) ploffen tot circa 1 m diep en 120 liter medium injecteren (mengsel wormenmest, Agra perlite en Mycorrhizae), 5) jaarlijkse oppervlakkige bemesting boomspiegel (0,5 kg NPK) en 6) geen behandeling (referentiegroep).



Fig. 1. Boom 1 in 1999 (Veldhuijzen van Zanten *et al.* 2009, 'Bijlagen', p. 6).

Fig. 2. Boom 1 in 2008 (Veldhuijzen van Zanten *et al.* 2009, 'Bijlagen', p. 6).

Na tien jaar bleek bovengronds geen verschil waarneembaar tussen de behandelde en onbehandelde bomen. Een steekproef wees uit dat het wortelgewicht van de behandelde bomen wel veel hoger was dan van de onbehandelde bomen. Door een grotere wortelpruik zijn ze naar verwachting beter bestand tegen stress.

## Hoewel de zuurstofconcentratie door de luchtinjecties licht toenam, waren de verschillen in boomgroei niet significant

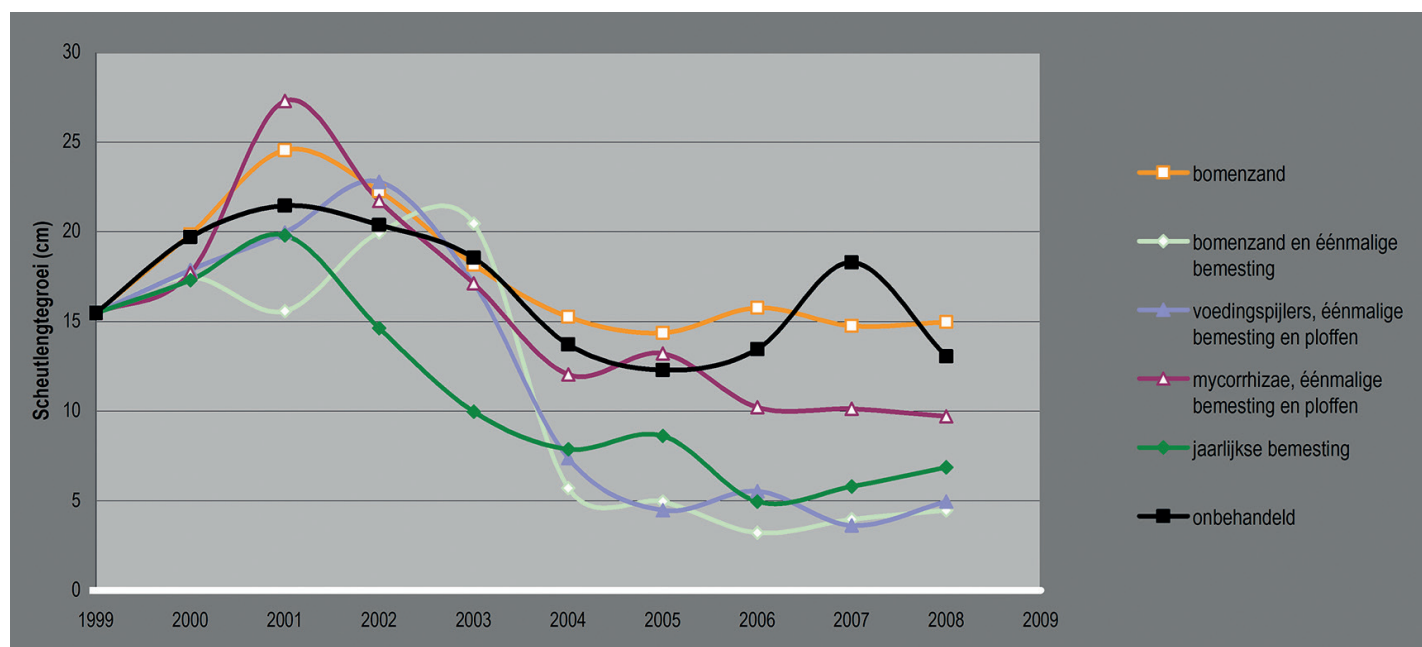


Fig. 3. Scheutlengtegroei per jaar bij de proef in Geuzenveld-Slotermeer. De groei is grillig en varieert tussen 3 en 27 centimeter per jaar. Het algemene beeld is dat de scheutgroei is verminderd sinds 2003 toen een extreem warme en droge zomer optrad (Veldhuijzen van Zanten *et al.* 2009, p. 10).

>

## 'Standaard' bouwverdichting rond boom

In de Forstbotanischen Garten in Göttingen (Duitsland) werd in de zomer van 2009 rond een 20-jarige paardenkastanje in de open grond met een gewone bouwmaschine over de kroonprojectie van de boom gereden om te onderzoeken wat de invloed hiervan is op de gasuitwisseling in de bodem. Deze bestaat uit plekken met een overwegend siltig-lemig, deels sterk skeletachtig substraat. Acht dagen hierna werd de bodem met een luchtdruklans ('Turbo-Terra-Air'), en in de zeer sterk verdichte delen met een waterdruklans ('Bioinjector' behandeld, waarbij de injectiepunten telkens 0,5 m van elkaar werden gezet. Hierbij zijn ook vulstoffen geïnjecteerd (Weltecke *et al.* 2011).

Het CO<sub>2</sub>-gehalte in de bovenlaag van de bodem werd voor, tijdens en na de proef gemeten. Teveel CO<sub>2</sub> veroorzaakt extreem ongunstige leefomstandigheden voor aerobe bodemorganismen en boomwortels. In principe kan worden aangenomen dat CO<sub>2</sub>-niveaus boven 1 procent een negatief effect hebben op de vitaliteit van bomen. Gaertig & Weltecke stellen een grenswaarde van 0,6 procent, aldus Jacko en Pommnitz (2018, p. 30).

## Het gebruik van hulpstoffen had hier geen meetbaar effect op de CO<sub>2</sub>-concentratie

Uit de CO<sub>2</sub>-metingen op 5 cm diepte bleek dat na één jaar het CO<sub>2</sub>-gehalte van de bodemlucht niet meer significant verschilde van de uitgangssituatie (fig. 4). De onderzoekers geven aan dat het in dit stadium niet mogelijk is om te beoordelen voor welke locaties de hier beschreven maatregel succesvol zal zijn en hoe duurzaam deze zal zijn. Daarnaast had het gebruik van hulpstoffen in deze bodem geen meetbaar effect op de CO<sub>2</sub>-concentratie. In een opgegraven

boorgat bleken de vulstoffen te zijn achtergebleven en niet door de bodem verspreid.

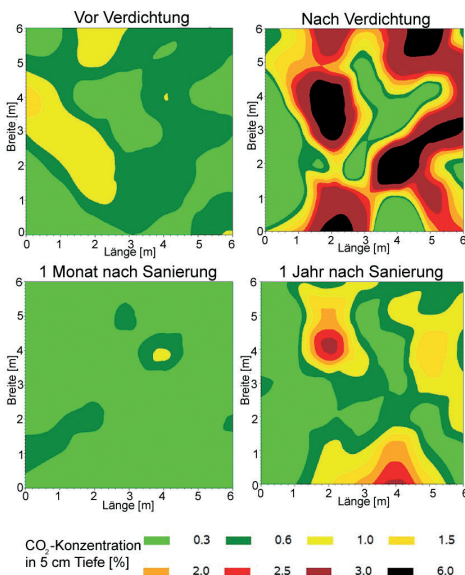


Fig. 4. CO<sub>2</sub>-concentratie op 5 cm bodemdiepte voor en na de verdichting, een maand en een jaar erna (Weltecke *et al.* 2011, p. 283).

## Vlak na behandeling lichte verbetering

Een vergelijkbaar maar nog korter onderzoek is zomer 2017 uitgevoerd op een proefveld te Erfurt (Duitsland). Onderzocht is of de bodemomstandigheden na kunstmatige verdichting kunnen worden verbeterd door te beluchten (Jacko en Pommnitz 2018). Het proefveld bevatte acht test- en twee referentievlakken. Gewerkt is met de hogedruklans 'Revita', deels met toevoeging van geëxpandeerde kleimineraalkorrels (Blähton-granulaat). Het bodemtype op de testlocatie is een matig humusrijke, licht zure en zeer koolstofarme leemgrond.

De eerste metingen na de bodemsanering toonden een lichte, significante verbetering van enkele bodemparameters ten opzichte van het niet-gesaneerde referentiegebied. Concreet: een iets hogere O<sub>2</sub>-concentratie, een iets snellere afname van de CO<sub>2</sub>-concentratie en een wat hogere bodemvochtigheid. De onderzoekers stellen dat het nog niet duidelijk is of de bodemgesteldheid aanzienlijk kan worden verbeterd door meervoudige beluchting. Verder heeft de toevoeging van het granulaat in het eerste jaar geen verifieerbaar effect gehad. Helaas is dit onderzoek niet vervolgd, wat in eerste instantie wel de bedoeling was.

## Zand, leem en klei

In het voorjaar van 2012 werd op drie testvelden met een sterk verdichte bodem in West-Duitsland, die elk een van de hoofdbodemtypes vertegenwoordigen (slib, zand en klei), de werking van de persluchtlanen getest (Löwe *et al.* 2023). De sanering vond plaats in vooraf gedefinieerde roosters onder vochtige bodemomstandigheden. Hierbij zijn drie verschillende saneringsvarianten gebruikt, namelijk een variant met vulstoffen, een zonder vulstoffen en een met het gebruik van water. Op basis van de ervaring van de gebruikers werd gewerkt met variaties in de beluchtingsdiepte, de persluchtintensiteit, de frequentie van de persluchtoevoer, de afstand tussen de renovatiepunten en de hoeveelheid steunkorrel die op de verschillende testoppervlakken werd aangebracht.

De werkingshypothese die gevolgd werd was dat het maaiveld iets verhoogd zou worden door het toegenomen poriënvolume in de bodem. Uit de metingen met een laserscan voor en vrijwel direct na de behandeling blijkt dat de omvang van het gecreëerde poriënvolume sterk afhangt van het bodemtype en de afstand tot de beluchtingsgaten. Het effect was het grootst wanneer vulstoffen werden geïnjecteerd; de oorzaak hiervan is nog niet duidelijk, aldus de onderzoekers. Zeker omdat bij een eerste onderzoek op de zandgrond bleek dat de steunkorrels door te hoge druk verpulverd waren en dus niet meer functioneel.



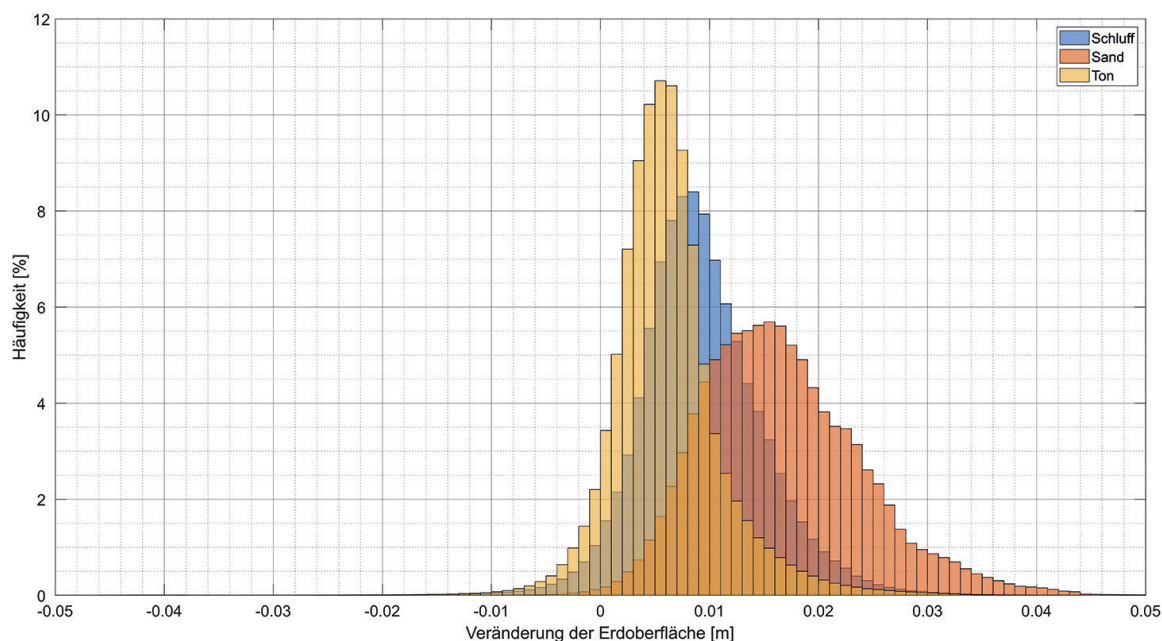


Fig. 5. Frequentieverdeling van de oppervlakteverandering op de drie testoppervlakken voor de variant met steunkorrel. Gemengde kleuren zijn het resultaat van de superpositie van de meetgegevens. Sand=zand, Schluff=slib, Ton=klei (Löwe *et al.* 2024, p. 13).

Onmiddellijk na de sanering was het maaiveld in het zandgebied significant hoger dan in het slibgebied. Op de slibrijke bodem was het waargenomen effect slechts klein, waardoor het nog steeds een sterk verdichte bodem was. Het kleinste opwaartse effect werd waargenomen op de kleiachtige ondergrond; hier was het maaiveld na drie dagen weer terug op zijn normale niveau.

Uit deze proef bleek dat het succes van de sanering grotendeels afhangt van de dichtheid van het saneringsrooster; een afstand van maximaal 40 cm geeft een beter resultaat. Sanering met water bleek niet effectief. In het verlengde hiervan menen de onderzoekers dat het injecteren van in water opgeloste meststoffen ook niet succesvol zal zijn. De reactie van de bomen op de beluchting wordt de komende jaren gevolgd.

## Deugdelijk vooronderzoek is noodzakelijk om niet op de verkeerde 'vijand' te schieten

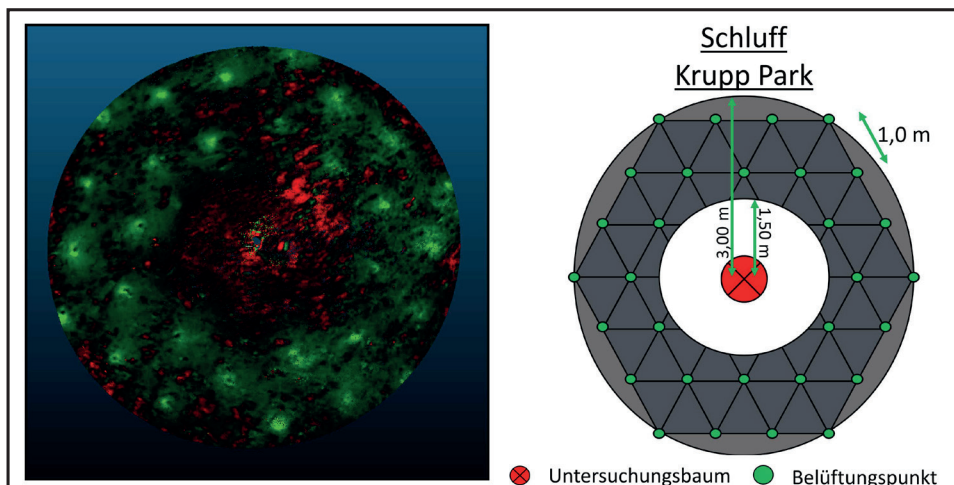


Fig. 6. Voorbeeld digitaal terreinmodel (links) en de bijbehorende schematische weergave van het injectieraster in het Krupp Park in Essen (rechts). De afstand tussen de injectiepunten is hier 1 meter. De verandering van het aardoppervlak wordt in kleur weergegeven op het digitale terreinmodel. Groen staat voor een opwaartse beweging op de z-as, terwijl zwart staat voor geen verandering en rood voor een negatieve verandering (verdichting). (Löwe *et al.* 2013, p. 59).

### Driejarige proef bij zomereiken

In een project met pilotkarakter werd in de wortelzone van een opstand van 95 zomereiken en 1 wintereik in Norderstedt (Duitsland) de grond pneumatisch losgemaakt met behulp van een persdruklans van TFI (Funke *et al.* 2023; Müller-Inkmann 2018). Deze eiken zijn aangeplant in 1990, een klein aantal eiken is inmiddels ingeboet.

De bodem bestaat uit licht siltig zand; het merendeel van de open standplaatsen rond de bomen wordt sinds de aanplant als parkeerplaats gebruikt en is dus sterk verdicht. De werkdruk van de beluchtingslans om de bodem open te breken was 3 tot 11 bar, de afstand van de gaten tot elkaar 1,5 m. Daarna werd met lage druk 150 liter substraat in de bodem gebracht via negen tot elf beluchtingsgaten per boom. Hierbij werden twee verschillende substraten gebruikt: ofwel Agra-Perlite om de holtes open te houden, ofwel een mengsel met 75 procent wormencompost, 25 procent Agra-Perlite en een standaard mengsel endo- en ectomycorrhiza (TFI-Vitaleres Grün GmbH). Veertig eiken zijn niet behandeld.

Gedurende drie vegetatieperioden werden de lengte van de scheuten, het waterpotentiaal van bladeren voor zonsopgang en de transparantie van de kronen bepaald. Aan het einde van dit veldexperiment konden geen significante effecten van de saneringsbehandelingen worden vastgesteld, afgezien van een klein verschil in kroontransparantie bij één behandelingscollectief. De onderzoekers geven aan dat de

jaren 2018-2021 zeer droog waren. Dat kan ook een succesvolle losmaking hebben verhinderd. Nicolaas Verloop van TFI legt in een reactie eveneens nadruk op de droge jaren. Tevens geeft hij aan dat zij later pas geconstateerd hebben dat de bomen te diep waren geplant.

Michael Müller-Inkmann, een van de onderzoekers, schrijft desgevraagd dat het naar zijn inzicht een realistisch experiment was onder de omstandigheden van dat moment, die in de toekomst vaker zullen voorkomen. “Ik interpreteer de resultaten daarom zo dat het onwaarschijnlijk is dat dit type renovatie met persluchtlanen succesvol zal zijn voor bomen op locaties met een watertekort.” Daarnaast was de aanplanting volgens Müller-Inkmann slechts bij een statistisch onbeduidend aantal ingeboete nieuwe bomen te diep. De oudere bomen in de evaluatie vertoonden zichtbare wortelaanzetten, waren gegroeid en zeker niet te diep geplant.

Een week later wil Verloop via e-mail nog kwijt dat de bomen redelijk dicht op elkaar staan en dus in elkaars invloedssfeer verkeren. “Wij zijn namelijk van mening dat de bomen, zodra zij met elkaar in wortelcontact staan, elkaar zullen helpen waardoor de onderzoeksgegevens per behandeling ook zullen afzwakken.” Een blik op Google Earth laat echter zien dat de bomen op naar schatting 7 tot 10 m afstand van elkaar staan, met tussen de bomen vaak sterk verdichte (parkeer) plekken (fig. 7). >



Fig. 7. Onderzoeklocatie: de straat 'In der Großen Heide', Norderstedt (Google Earth april 2022).

## Conclusie

Uit de hier bestudeerde onderzoeken blijkt dat de effecten van een bodeminjectiemachine op een verdichte bodem op zijn best vrij minimaal zijn. Het (meestal kortstondig) succesvol losmaken van de grond hangt af van het bodemtype, de huidige bodemvochtigheid en de mate van voorverdichting (Weltecke *et al.* 2011), evenals de toegepaste luchtdruk (Funke *et al.* 2023, 245). Dat was overigens in de negentiger jaren van de vorige eeuw al bekend. Binnen de bestudeerde onderzoeken is enig resultaat behaald bij vrij kortstondig verdichte bodems, met name op zandgronden. Dit betrof helaas geen langdurig gevolgde proeven.

Om het best mogelijke resultaat te bereiken is sowieso een deugdelijk vooronderzoek noodzakelijk, waarbij het ook van belang is om de juiste oorzaak van een slecht groeiende boom te achterhalen, om niet op de verkeerde 'vijand' te schieten. Het gebruik van vulstoffen lijkt zelden effectief te zijn; bij één proef bleek dat de korrels door de hoge druk verpulverd waren en dus geen functie meer hadden (Löwe *et al.* 2023), bij een andere dat ze in de boorholte waren achtergebleven (Weltecke *et al.* 2011).

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de bodeminjectiemachine bij bomen wel bruikbaar is wanneer een ondoordringbare laag moet worden doorboord of het (voorheen onbereikbare) grondwater hierdoor beschikbaar komt. Daarnaast kunnen ook de holtes voor voedingspeilers worden gemaakt met een hogedruklans, die dan met de hand opgevuld kunnen worden.

Het injecteren van een beperkte hoeveelheid substraat biedt ook geen structurele oplossing voor een meer humusrijke en dus betere vochthoudende bodem met een gezond bodemvoedselweb, waar onze (straat)bomen in deze tijd grote behoefte aan hebben. Daarvoor zijn meer robuuste oplossingen noodzakelijk (zie hiervoor bijvoorbeeld deel 4 van *Knaller of kneusje*).

## Literatuur

- Amerongen, Veronica van, 'Knaller of kneusje- deel 3', *KPB Nieuwsbrief* 22 (2005), p. 3.
- Ben-Noah Ilan *et al.*, 'Soil aeration using air injection in a citrus orchard with shallow groundwater', *Agricultural Water Management* 245 [Research paper] (feb. 2021).
- Funke, Felix, Steffen Rust en Michael Müller-Inkmann: 'Auswirkung einer pneumatischen Bodensanierung auf Stiel-Eichen: Ergebnisse eines dreijährigen Feldversuchs' [Wissenschaftliche Kurzberichte], *Jahrbuch der Baumpflege* (2023), p. 240-246.
- Hascher, William en Christina E. Wells: 'Effects of soil decompaction and amendment on root growth and architecture in Red maple (*Acer rubrum*)', *Arboriculture & Urban Forestry* (2007) 33/6, p. 428-432.
- Jacko, Milan en Mark Pommnitz: 'Bodenverdichtungen durch Bodenbelüftung sanieren?', *AFZ-Der Wald* 12 (2018), p. 28-31.
- Löwe, Oliver, Dominik Seidel, Katharina Weltecke en Thorsten Gaertig: 'Einsatz von Druckluftpflanzen im Boden – 'Quantifizierung des Sanierungserfolges mit Laserscanaufnahmen der Bodenoberfläche'', *Jahrbuch der Baumpflege* (2023), p. 56-69.
- Löwe, Oliver, Katharina Weltecke en Thorsten Gaertig, 'Sanierung von Bodenschadverdichtung an urbanen Baumstandorten', *AFZ Der Wald* 4 (2024), p. 13-16.
- Müller-Inkmann, Michael en Manuel Schuster, 'Mechanical and pneumatic soil aeration treatment: an experiment involving *Tilia cordata*', *Tagungsband Osnabrücker Baumpflegetage* 2015, (red.) J. Bouillon, 159-164.
- Müller-Inkmann, Michael: 'Norderstedt: Feldversuch zur Sanierung verdichteter Baumstandorte', *ProBAUM* 2 (2018), p. 29.
- Obbink, Jan Willem: 'Onderzoek groeiplaatsverbetering roept vragen op', *Tuin en Landschap* 14 (2009), p. 34-35.
- Veldhuijzen van Zanten, H.R., M.M.E. Backerra en J.W. Obbink: *Groeiplaatsverbetering bij Amsterdamse stadsbomen. Tien jaar praktijkonderzoek, stadsdeel Geuzenveld-Slotermeer, 1999-2008*, (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam 2009) met apart document Bijlagen.
- Weltecke, Katharina, Marco Diers en Thorsten Gaertig, 'Orientierende Untersuchung zur pneumatischen Sanierung von Bodenschadverdichtung' [Wissenschaftliche Kurzberichte], *Jahrbuch der Baumpflege* (2011), p. 280-285.