

## SAMENVATTING LITERATUURSTUDIE BODEMVERDICHTING EN -VERVORMING BIJ BOSEXPLOITATIE

Samenvatting van het rapport: Kremers, J., M. Boosten. 2018. *Soil compaction and deformation in forest exploitation. A literature review on causes and effects and guidelines on avoiding compaction and deformation.* Wageningen, Stichting Probos.

### Oorzaken bodemverdichting en -vervorming

Bij bosexploitatie met machines kan bodemverdichting en/of -vervorming optreden. Bodemverdichting is het samendrukken van de poriën (holten tussen de bodemdeeltjes) in de bodem. Vervorming treedt op wanneer de bodem onder de wielen zijwaarts wordt weggeduwd. Bodemverdichting en -vervorming zijn het gevolg van (complexe) interacties tussen druk, schuifkrachten en trillingen die de machines op de bodem uitoefenen. Deze effecten treden niet alleen op recht onder de wielen, maar kunnen tot wel 75 centimeter naast de wielen voorkomen. Over het algemeen vindt het merendeel van de verdichting plaats op het eerste moment dat de machine de bosbodem berijdt. De daaropvolgende berijdingen veroorzaken nog wel aanvullende verdichting en -vervorming.

De gevoeligheid van de bodem voor verdichting en vervorming wordt bepaald door de bodemtextuur en het vochtgehalte van de bodem (zie tabel 1).

**Tabel 1**

*Effect van bodemtextuur en bodemvochtgehalte op de gevoeligheid voor bodemverdichting en -vervorming*

Bodemtextuur	Vochtgehalte bodem		
	Droog	Vochtig	Nat
Bodems met een fijne textuur: Klei, leem	Weinig gevoelig voor verdichting en vervorming	Zeer gevoelig voor verdichting en vervorming	Weinig gevoelig voor verdichting, maar zeer gevoelig voor vervorming
Bodems met een grove textuur: Zand, lemig zand	Zeer gevoelig voor verdichting en vervorming	Weinig gevoelig voor verdichting en vervorming	Weinig gevoelig voor verdichting en vervorming (m.u.v. grofzandige bodems)

Daarnaast is het type machine (gewicht, snelheid, soort banden, gebruik van tracks etc.) in combinatie met de exploitatiemethode van invloed op de mate van bodemverdichting en -vervorming. Het spreekt voor zich dat hoe minder gewicht een machine heeft, hoe lager de druk is die de machine uitoefent op de bosbodem. Het gebruik van lichtere machines of het minder zwaar beladen van machines zorgt er echter voor dat machines vaker heen en weer moeten rijden om hout uit het bos af te voeren, waardoor het risico op verdichting en vervorming alsnog toeneemt.

Andere technische maatregelen die de mate van bodemverdichting en -vervorming kunnen beperken zijn het verbreden van de banden, het verhogen van het aantal banden, het verlagen van de bandendruk en het gebruik van rupsbanden of tracks. Hiermee wordt het gewicht van de machine over een groter oppervlak verdeeld. Echter, het bodemoppervlak dat wordt bereden wordt hiermee ook vergroot, waardoor ook negatieve effecten kunnen toenemen. Het type band, track of rups bepaalt ook de hoeveelheid grip die een machine heeft op de bodem. Over het algemeen geldt dat hoe meer grip een machine heeft hoe gelijkmatiger de machine voortbeweegt en hoe minder schade de machine aan de bodem zal veroorzaken.

Natuurlijke mechanismen zoals bevriezen, zwellen en biologische activiteit kunnen de grond helpen gedeeltelijk of volledig te herstellen van verdichting en vervorming. Natuurlijk herstel is echter een zeer langzaam proces dat minimaal 10 jaar tot enkele decennia kan duren.

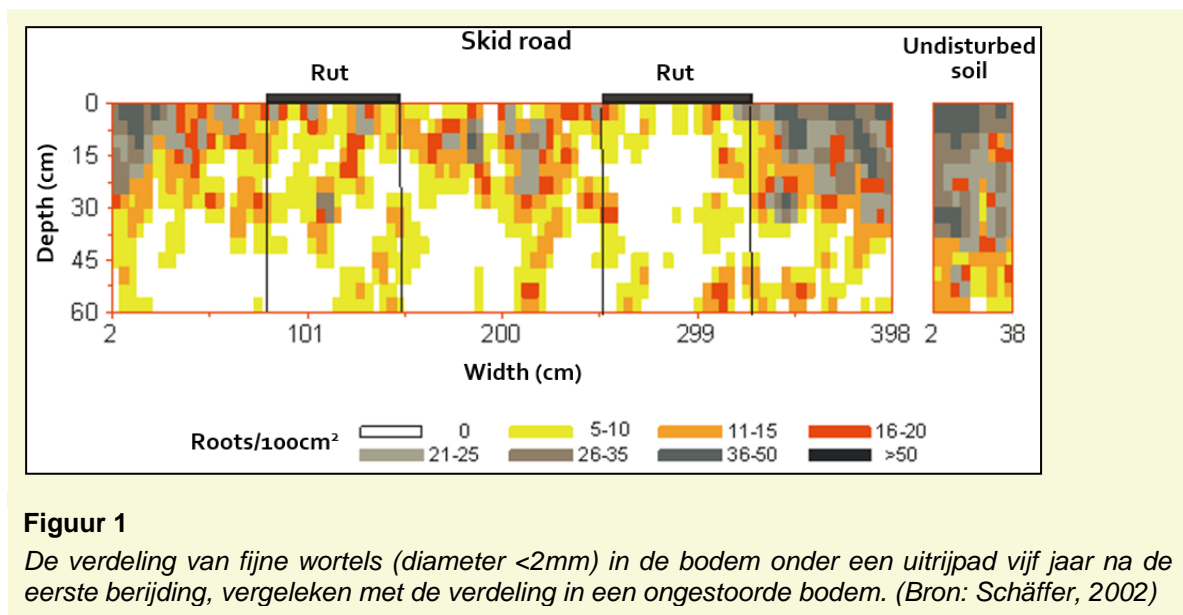
### Gevolgen

Bodemverdichting (en in mindere mate bodemvervorming) kan verschillende effecten hebben op het bosecosysteem. De belangrijkste effecten zijn:

1. Het belemmeren van gasuitwisseling in de bodem en de beschikbaarheid van water en voedingsstoffen;
2. Het belemmeren van de wortelgroei van de boom en de doorwortelbaarheid van de bodem;
3. Het verstoren of veranderen van bodembiodiversiteit
4. Het belemmeren van de kieming van zaden en de ontwikkeling van zaailingen;
5. Het veranderen van de samenstelling van de kruidlaag.

Ad 1) Als gevolg van de bodemverdichting neemt het poriënvolume in de bodem af en wordt ook de verbinding tussen poriën verbroken. Hierdoor kunnen onder meer zuurstofgehalten in de bodem dalen. Daarnaast kan als gevolg van bodemverdichting water minder goed infiltreren in de bodem, waardoor er waterstagnatie optreedt. Ook kan de hydraulische geleidbaarheid afnemen, waardoor water minder makkelijk tussen bodemlagen getransporteerd wordt. Indirect wordt door de veranderingen in hydrologische omstandigheden en de belemmerde gasuitwisseling ook de beschikbaarheid van nutriënten beïnvloed.

Ad 2) Bij bodemverdichting wordt de doorwortelbaarheid van de bodem verlaagd, onder meer als gevolg van een verhoogde bulkdichtheid van de bodem (hogere penetratieweerstand) en lagere zuurstofgehalten. Dit kan belangrijke gevolgen hebben voor de groei van met name fijne wortels (zie bijvoorbeeld figuur 1). Indirect kunnen bomen bij een hogere penetratieweerstand in de bodem ook stresshormonen produceren waardoor de lengtegroei van de wortels afneemt.



Ad 3) Soorten als regenwormen, mijten, springstaarten en mycorrhizae kunnen hinder ondervinden van bodemverdichting als gevolg van onder meer een hogere bulkdichtheid en een lager zuurstofgehalte in de bodem. Aangezien deze soorten een belangrijke rol spelen bij de opname van nutriënten door bomen, kan dit ook indirect effect hebben op de groei en vitaliteit van bomen.

Ad 4) Als gevolg van de eerdergenoemde effecten kan ook de kieming en ontwikkeling van zaailingen worden beïnvloed. Bijvoorbeeld Cambi et al (2017) vonden dat bodemverdichting de groei van zaailingen van zomereik verminderde. De scheutbiomassa en de lengte van de hoofdwortel waren respectievelijk 26% en 24% lager in vergelijking met de groei op een ongestoorde bodem. De fotosynthesesnelheid en het stikstofgehalte in het blad waren ook lager (respectievelijk -34% en -27%). Deze verminderde zaailinggroei werd voornamelijk veroorzaakt door de kortere wortellengte die leidde tot een verminderde opname van voedingsstoffen en water. In de literatuur is met name de invloed van bodemverdichting op jonge bomen (zaailingen) beschreven. Enkele onderzoeken tonen aan dat bodemverdichting ook na enkele decennia nog significante verminderde groei en ontwikkeling van bomen tot gevolg heeft.

Ad 5) Met bodemverdichting en -vervorming kan de soortensamenstelling van de kruidlaag worden beïnvloed, omdat er meer ruigtekruiden groeien op de verdichte plekken en typische (oud) bossoorten verdwijnen. Ook waterstagnatie in verdichte bodems kan leiden tot een verandering van de kruidlaag.

Onderzoeken naar de langetermijneffecten van bodemverdichting op het functioneren en de ontwikkeling van bossen (bosecosystemen) als geheel zijn schaars. Alhoewel de uitkomsten van de bestudeerde internationale onderzoeken niet een op een kunnen worden doorvertaald naar de Nederlandse situatie, laten ze wel zien dat de effecten op de groei en vitaliteit van bomen significant kunnen zijn. Enkele studies laten bovendien zien dat (in theorie) bodemverdichting kan leiden tot verminderde houtopbrengsten voor de bouseigenaar. Ook kan bodemverdichting en -vervorming (archeologisch) erfgoed in bossen aantasten. Daarnaast kan bodemverdichting de biodiversiteit beïnvloeden. Dit hoeft niet automatisch te leiden tot een verminderde biodiversiteit. Bijvoorbeeld stagerend water in rijsporen kan interessante (micro)habitats opleveren voor amfibieën en insecten.

### **Voorkomen**

Om bodemverdichting en -vervorming te voorkomen, is het van belang om bosexploitatie alleen uit te voeren onder optimale omstandigheden, waarbij er weinig tot geen schade aan de bosbodem te verwachten is. Onder meer in Duitsland zijn er beslissingsondersteunende systemen ontwikkeld voor het bepalen van de optimale exploitatieomstandigheden, waarbij rekening wordt gehouden met de toestand van de bosbodem (textuur, vocht enz.) en de weersomstandigheden.

Ook het gebruik van vaste uitrijpaden kan verdichting en vervorming van een deel van de bosbodem voorkomen.

Uit de bestudeerde literatuur kan geen eenduidig overzicht worden gemaakt van de maximaal toegestane bodemdruk die een machine mag veroorzaken om bodemverdichting en -vervorming te beperken. Daarnaast is niet alleen het gewicht van de machine van invloed op de bodemverdichting en -vervorming. Ook andere machinekarakteristieken, zoals aantal banden, snelheid, type tracks et cetera beïnvloeden de (mate van) bodemverstoring. Dit maakt het lastig om specifieke richtlijnen voor machines op te stellen.

### **Bodemverdichting en -vervorming in het Nederlandse bos**

Onderzoeksgegevens naar de effecten van bodemverdichting en -vervorming in Nederland zijn schaars. Ook is onbekend welk deel van de Nederlandse bosbodem hinder ondervindt van verdichting en vervorming. In meer dan helft van het Nederlandse bos heeft de afgelopen 10 jaar een of meerdere keren een houtoogst plaatsgevonden met machines. Dit betekent dat een aanzienlijk deel van het Nederlandse bos wel een risico heeft op bodemverdichting en -vervorming. Het verdient aanbeveling om samen met kennisinstituten en bosbeheerders een onderzoeksnetwerk op te zetten om gegevens te verzamelen in Nederlandse bossen.