



De invloed van structuurdunning en noodverjonging op de effectieve depositie in bossen.

- een literatuurstudie -

2006

G.W. Tolkamp & A.F.M. Olsthoorn



Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport B2

Alterra Rapport 1337.7

REFERAAT:

Tolkamp, G.W. & A.F.M. Olsthoorn, 2006. *De invloed van structuurdunning en noodverjonging op de effectieve depositie in bossen. Een literatuurstudie.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1337.7. 19 blz.; 3 fig.; 2 tab.; 40 ref.

Dit rapport doet verslag van een deelonderzoek uit de Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen 2004-2005 en is gericht op de effecten de maatregelen Aanpassen van de bosvegetatie als overbruggingsmaatregel in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). Structuurdunning (groepenkap) en noodverjonging (omvorming) hebben via beïnvloeding van de ruwheid van de kroonlaag van het bos in principe een effect op de depositie van verzurende en vermestende stoffen in het bos. De maatregelen worden kort omschreven. Doel van dit deelrapport is om de effecten van de beide maatregelen op de depositie in te schatten via literatuurstudie. Het niveau van depositie is hoger in bosranden en mede afhankelijk van de lengte en type begroeiing van het gebied vóór het bos. Door filtering in de bosrand slaat er verderop minder depositie neer. Er zijn vele literatuurbronnen die deze effecten beschrijven en kwantificeren voor specifieke situaties. Een algemeen beeld voor de netto effecten op de depositie is daarvan moeilijk af te leiden door de vele tijdgebonden en kleinschalige effecten. Voor de depositie hebben de beide maatregelen dus waarschijnlijk geen netto effect. Bovendien is het effect van structuurdunning en noodverjonging op de ruwheid van het kronendak in principe tijdelijk vanwege het opgroeien van de verjonging die het gat opvult. De beide maatregelen zullen vooral ingezet moeten worden om de stabiliteit en diversiteit van het bos te verhogen.

Trefwoorden: invangen depositie, ruwheid kronendak, structuurdunning, groepenkap, noodverjonging, omvorming, bosontwikkeling, bosvitaliteit, OBN, EGM.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kan worden uitgeprint via www.alterra.wur.nl, kies Publicaties en Alterra rapporten. Na intoetsen van het rapportnummer 1337 kan uit de lijst het juiste deelrapport worden geselecteerd en worden geprint of gedownload (als PDF). Het onderzoek bestond uit acht deelonderzoeken, zie ook de overige deelnummers bij rapportnummer 1337.

Het samenvattende eindrapport *Olsthoorn, A.F.M & R.J.A.M. Wolf - 2006 - Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen – Eindrapport* is verschenen als OBN rapport DK051-O en kan worden besteld bij de Directie Kennis in Ede, Postbus 482, 6710 BL Ede.

Het eindrapport is ook verschenen als Alterra Rapport 1337.9 en kan dus eveneens worden geprint of gedownload via bovenstaande Alterra site (als PDF).

De invloed van structuurdunning en noodverjonging op de effectieve depositie in bossen.

- een literatuurstudie -

G.W. Tolkamp & A.F.M. Olsthoorn

2006

Opdrachtnemers:

Alterra, Wageningen

Eelerwoude, Goor

Opdrachtgever:

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

Project Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport B2, verschenen als Alterra rapport 1337.7

Samenvatting

Structuurdunning (groepenkap) en noodverjonging (omvorming) hebben via beïnvloeding van de ruwheid van de kroonlaag van het bos in principe een effect op de depositie van verzurende en vermestende stoffen in het bos. De maatregelen worden kort omschreven. Doel van dit deelrapport is om de effecten van de beide maatregelen op de depositie in te schatten via literatuurstudie.

Het niveau van depositie is hoger in bosranden en mede afhankelijk van de lengte en type begroeiing van het gebied vóór het bos. Door filtering in de bosrand slaat er verderop minder depositie neer. Er zijn vele literatuurbronnen die deze effecten beschrijven en kwantificeren voor specifieke situaties. Een algemeen beeld voor de netto effecten op de depositie is daarvan moeilijk af te leiden door de vele tijdgebonden en kleinschalige effecten.

Eventuele positieve korte termijneffecten op kleine schaal worden meestal direct elders teniet gedaan. Voor de depositie hebben de beide maatregelen dus waarschijnlijk geen netto effect. Bovendien is het effect van structuurdunning en noodverjonging op de ruwheid van het kronendak in principe tijdelijk vanwege het opgroeien van de verjonging die het gat opvult.

De beide maatregelen zullen vooral ingezet moeten worden om de stabiliteit en diversiteit van het bos te verhogen. Dit zou op termijn kunnen leiden tot een vitaliteiteffect, als de aanwezige soorten goed aangepast zijn aan de groeiplaats of zelfs de groeiplaats verbeteren.

INHOUD:

Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Omschrijving van de maatregelen structuurdunning en noodverjonging	6
3. Algemene factoren die de depositie in bossen beïnvloeden	8
4. Effecten van de maatregelen op de depositie	10
5. Effect van de maatregelen op de bodem	13
6. Effecten van de maatregelen op de waterhuishouding	14
7. Conclusies	15
Literatuur	16
Bijlage 1 Enige gebruikte termen	18

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Deze literatuurstudie beschrijft welk effect structuurdunning en noodverjonging kunnen hebben op de atmosferische depositie en wat de gevolgen hiervan zijn voor het boseco-systeem, voornamelijk op bodem en water. De studie sluit aan op de door TNO uitgevoerde literatuurstudie in 2001 (Bleeker & Draaijers 2001), waarin de invloeden van bosranden en de kroonstructuur op de mate van atmosferische depositie in het bos geëvalueerd werden. Echter, de gevolgen van structuurdunning en noodverjonging, als terminologie binnen de EGM maatregelen, op de depositie werden in deze TNO-studie niet specifiek behandeld. De maatregelen noodverjonging en structuurdunning zijn ook in de huidige studie samengevoegd. In principe worden namelijk dezelfde soort effecten verwacht. Er zijn natuurlijk schaalverschillen in de effecten, en deze worden in de tekst naast elkaar behandeld voor structuurdunning en noodverjonging.

Kennisontwikkeling door middel van onderzoek over het effect van structuurdunning en noodverjonging als EGM op depositie is van groot belang. Men verwacht namelijk dat de komende decennia de totale depositie van verzurende en vermestende stoffen (SO_x, NO_x en NH_x) nog boven de kritische depositiewaarde zal blijven in de Nederlandse bossen (Klein et al. 1996). In Nederland is hier nog geen specifiek onderzoek naar verricht, echter wel in enkele andere Europese landen, de USA en Australië. Uit enkele onderzoeken in Oost Europa (Slovik, Balazas et al. 1996) en (Chroust 1991; Slodicak 1995; Armolaitis & Miksys 1996) blijkt dat dunning bij kan dragen tot een betere vitaliteit en stabiliteit van het bos. De resultaten van dit Oost Europees onderzoek zijn moeilijk toepasbaar in de Nederlandse situatie door de verschillen in luchtverontreiniging en de zwaarte van de aantastingen. Ook is hier geen onderscheid gemaakt tussen toekomstbomen-dunningen, structuurdunningen en noodverjonging. Juist daarom zijn de resultaten van het deelonderzoek B1.1. en B1.2 (veldonderzoek van structuurdunning en noodverjonging) van groot belang om conclusies te kunnen trekken.

1.2 Opzet van het literatuuronderzoek

In dit literatuuronderzoek, in o.a. de databanken van Current Contents en CAB, zijn onder andere de volgende termen (in het Engels) gebruikt, vaak in combinatie (met de engelse "AND" en "OR" keuzemogelijkheid):

- bos (forest)
- bosverjonging (forest regeneration)
- structuurdunning (group thinning, gap)
- noodverjonging (forest improvement, reforestation)
- depositie (deposition, water, nutrients, pollutants)

Beperking:

In dit onderzoek worden niet de specifieke EGM doelen van de beide maatregelen besproken (zie hoofdstuk 2). Dat wordt gerapporteerd in de deelrapporten B1 (veldonderzoek) en B3 (workshop). In dit literatuuronderzoek worden specifiek de thema's verzuring en vermesting besproken via effecten op de depositie.

2. Omschrijving van de maatregelen structuurdunning en noodverjonging

Structuurdunning wordt gezien als een preventieve beheersmaatregel ter bestrijding van de effecten van verzuring en vermessing. Terwijl noodverjonging meer als een curatieve maatregel gezien kan worden om opstandsgewijs nieuw bos te maken. (Klap & Schmidt 1992; Bouwma & Olsthoorn 1997). De verschillen en overeenkomsten tussen structuurdunning en noodverjonging worden hieronder beschreven.

Structuurdunning

In de handleiding EGM 2001 (Klein et al., 2000) staat deze maatregel als volgt omschreven:

Onder structuurdunning wordt verstaan het kappen van groepen bomen in monoculturen in combinatie met stimulering van natuurlijke verjonging of het planten van bosplantsoen.

Of anders gezegd, structuurdunning is het selectief verwijderen van groepen bomen om ter plaatse een meer structuurrijk bos te realiseren. Meestal wordt deze methode groepenkap genoemd. Zie ook: <http://www.bosinfo.nl>. De OBN terminologie wijkt hier dus af van het algemene gebruik. In deze evaluatiestudie wordt de term structuurdunning gebruikt, conform de subsidieregeling.

De doelen van structuurdunning zijn:

- Het tot stand brengen van naar soorten en leeftijden gemengde bosopstanden;
- Het sturen naar een gewenste boomsoortensamenstelling en opstandstabiliteit;
- Het bevorderen en ontwikkelen van natuurwaarden in het bos.

Structuurdunning wordt uitgevoerd in multifunctionele bossen die minimaal 20 jaar oud zijn. Het betreft monoculturen en opstanden waarbij, tijdens het aanwijzen van toekomstbomen, is geconstateerd dat deze toekomstbomen ongelijk over de opstand verdeeld zijn. In dergelijke opstanden worden met een totale oppervlakte van minimaal 10% en maximaal 25% van de groepen bomen uitgezet en gekapt, waardoor gaten in het kronendak ontstaan met een diameter van 1 à 3 maal de boomhoogte. Er kan een aanvraag worden gedaan voor aanvullende maatregelen (bodemverwonding en/of planten). Structuurdunning maakt sinds 1997 deel uit van de regeling EGM.

Noodverjonging

In de handleiding EGM 2001 (Klein et al. 2000) staat deze maatregel als volgt omschreven:

Noodverjonging is een proces dat is gericht op het wijzigen van de bossamenstelling naar boomsoort, leeftijd en structuur. Het proces omvat één of meer beheersmaatregelen en de uitvoering van die maatregelen kan kortere of langere tijd in beslag nemen.

Het is een grootschaliger maatregel dan structuurdunning en het gebeurt meestal opstandsgewijs. De doelen van noodverjonging zijn:

- Het sturen naar een andere boomsoort en/of herkomst, die op die groeiplaats minder gevoelig dan wel beter is aangepast;
- Het vergroten van de variatie aan boomsoorten, leeftijden en structuren, waardoor de natuurwaarde, de natuurlijkheid en de diversiteit wordt vergroot.

Noodverjonging wordt uitgevoerd in multifunctionele bossen van minstens 20 jaar oud, waar de vitaliteit van het bomenbestand zo ver is teruggelopen dat niet te verwachten is dat deze zich zal herstellen. Het betreft bosopstanden met een vitaliteitsklasse 4 (IKC 1998) en/of een gemiddelde bijgroei over de laatste 5 jaar die minder dan 80% van de op grond van boniteit te verwachten bijgroei. Doorgaans wordt bij noodverjonging de opstand geheel of gedeeltelijk gekapt, waarna herplant van de kapvlakte plaatsvindt. Zoals de naam al zegt is noodverjonging een noodmaatregel: In vergelijking met structuurdunning zijn de oppervlaktes voor noodverjonging over het algemeen groter. De noodverjonging maatregel kan past worden toegepast als alternatieve maatregelen aantoonbaar niet werken. Noodverjonging maakt sinds 1995 deel uit van de regeling EGM.

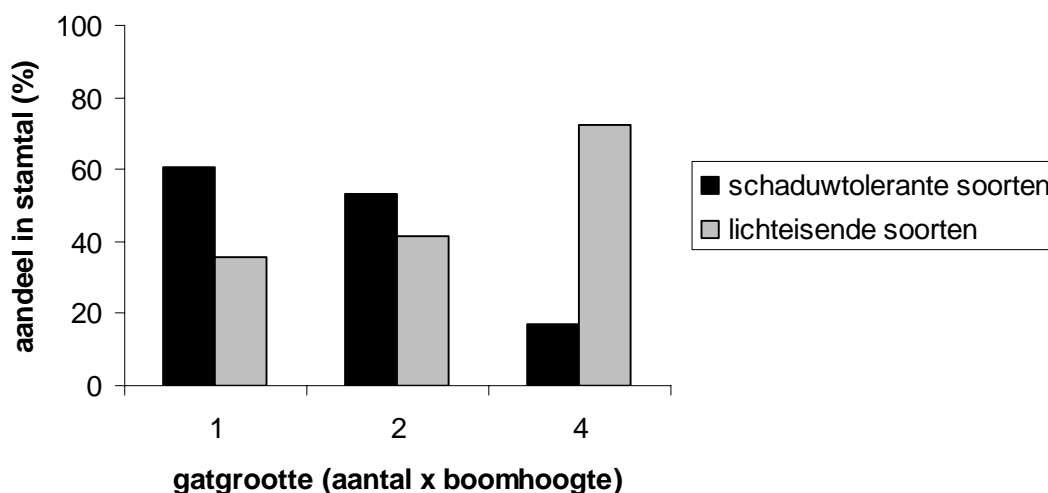
Door de maatregelen van dunning en verjonging komt er meer licht op de bodem en zal de bodemtemperatuur ook stijgen (Hendriks, Olsthoorn et al. 2000). Mede daarom kan de

verruiging worden tegengehouden door het uitblijven van individuele dunning (door het donker blijven van de bodem).

Structuurdunning en noodverjonging creëren kleine gaten en grote gaten waarin natuurlijke verjonging optreedt. Wijdeven, Van den Berg et al. (2003) zagen o.a. de volgende trends in natuurlijke verjonging van grote en kleine gaten (zie ook figuur 1):

- De meest voorkomende soorten komen voor in zowel kleine als grote gaten;
- In grote gaten komen hogere stamtallen en een hoger aandeel lichteisende soorten voor;
- In de kleinere gaten komt een hoger aandeel schaduwtolerante soorten voor;
- Afwisseling van gaten van verschillende grootte, met hier en daar en af en toe een groot gat, zal de variatie in structuur en soortensamenstelling bevorderen (en de natuurfunctie van het bos vergroten).

Daardoor kan de manier van uitvoeren van structuurdunning en noodverjonging ook via natuurlijke verjonging effect hebben op de soortensamenstelling. Als de soorten beter aan de groeiplaats zijn aangepast, is de verwachting dat de vitaliteit beter zal zijn. Een goede aangepastheid aan de groeiplaats is daarbij zeer belangrijk. Sommige boomsoorten kunnen de kwaliteit van de groeiplaats zelfs verbeteren, zoals linde en esdoorn (zie Hommel et al in d'Ansembourg et al, 2003). Ook Jansen et al. (2001) geven tips voor verbetering van de kwaliteit van de bossamenstelling.



Figuur 1: Aandeel van schaduwtolerante soorten en van lichteisende soorten in relatie tot de gatgrootte. Schaduwtolerante soorten zijn hier beuk, Douglas en fijnspar en lichteisende soorten zijn berk, grove den, lariks en eik (Wijdeven, van den Berg et al. 2003)

3. Algemene factoren die de depositie in bossen beïnvloeden

De depositie van atmosferische stoffen wordt het sterkst beïnvloed door de geografische ligging van bossen en in mindere mate door regenval, hoogteligging en boomsoorten (De Vries, Reinds et al. 2000). Bossen, die dicht bij een industrie gebied liggen, zullen een hogere depositie hebben dan bossen in minder bevolkte industrie rijke regio's. Ook het type landschap heeft volgens Weathers, Lovett et al. (2000) een duidelijk effect op depositie, zowel grootschalig (bergen, vlakten en meren) als kleinschalig (bosranden, vegetatietype, enz).

Wanneer wordt afgezien van deze geografische ligging en de nabijheid van bronnen (bijvoorbeeld kust, vervuilende industrie, mijnen en veestallen), dan is de droge depositie van de meeste stoffen in bosgebieden meestal significant hoger dan in vlak terrein. Dit wordt veroorzaakt door de grotere turbulentie en het grote contactoppervlak tussen bos en lucht. Hierdoor worden ook de verschillen in depositie verklaard tussen de verschillende bostypes. Op basis van metingen uit het begin van de jaren negentig in een groot aantal bosopstanden blijkt de invangpreferentie¹⁾ uiteen kan lopen van ruim 1 voor open bos (struweelachtig) tot 2 voor dicht naaldbos. Bovendien blijkt de invangpreferentie van verschillende stoffen en van combinaties van stoffen sterk te verschillen. Zo ontstaat uit een combinatie van ammonium en sulfaat het hygroscopische ammoniumsulfaat, dat zeer preferent neerslaat.

Tenminste 50% van het beboste gebied van Nederland wordt beïnvloed door randeffecten. Daarom is het van groot belang om deze randeffecten in de huidige computermodellen voor depositie op te nemen.

In de eerste 10 tot 100 meter van bosranden is de invangpreferentie groter dan in de bosopstand zelf en deze invangpreferentie is sterk afhankelijk van de dichtheid en de richting van de rand. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in Tabel 1. (Draaijers et al. 1988; Draaijers et al. 1994; De Jong & Klaassen 1997; Bleeker & Draaijers 2001). Veel stoffen worden op 10 meter van de bosrand met een verhoogd niveau van tussen de 25% en 340% afgezet, ten opzichte van grasland op 200 meter van het bos als referentie.

Tabel 1: Relatieve toename (%) van doorval ionen ten opzichte van een referentie op 200 meter van de bosrand. (van locatie 'A', hoogste verklaarde variatie. Vereenvoudigd naar: Draaijers et al. 1988, zie daar voor technische details van de metingen en berekeningen)

Afstand tot bosrand:	10 m	25 m	50 m	100 m	200 m (= referentie)
SO ₄ ²⁻	82	51	32	15	0
NO ₃ ⁻	50	32	20	10	0
NH ₄ ⁺	54	35	22	11	0
H ⁺	31	20	12	5	0

De droge depositie en uiteindelijk de concentratie in doorvalwater in de bosranden is sterk afhankelijk van de windsnelheid, windturbulentie en windrichting. In het bijzonder randbomen, die in overheersende windrichting staan worden extra getroffen door droge depositie. Dit voorkomt dat die extra depositie neerkomt in de bosopstand. Daarom is het instellen van bosranden of bufferzones (samengevat in Bouwma & Olsthoorn 1997) een goede methode om de atmosferische neerslag in het bos te verkleinen, doordat de bufferzone werkt als een filter.

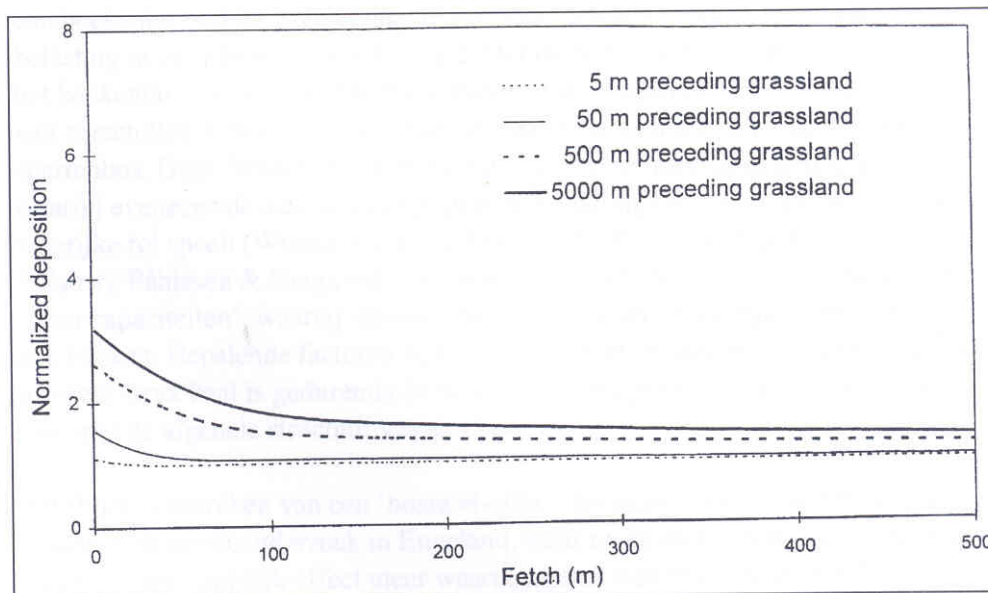
Figuur 2 toont aan dat de efficiëntie van een bosrand op depositie in grote mate afhangt van de ruwheid van het terrein voor de bosrand en de grootte van dit terrein (De Jong & Klaassen 1997 in Bleeker & Draaijers, 2001). Wanneer een bosrand bijvoorbeeld grenst aan 5000 m grasland zal de depositie op een bos van 500 m met ongeveer 68% toenemen. Bij kleinere 'grasvelden' zal het effect kleiner zijn, wat verklaard kan worden door de manier waarop de

¹⁾ Een invangpreferentie van 1 houdt in dat de droge depositie niet hoger is dan in vlak terrein met een korte vegetatie

'luchtstroom' zich aan het landschap kan aanpassen. Wij veronderstellen dat dit principe ook geldt voor de grote gaten in het bos, die ontstaan zijn door noodverjonging. Echter, bewijzen hiervoor zijn niet terug te vinden in de literatuur. Bij een gat van 5000m lengte zal de luchtstroom zich al in hoge mate hebben aangepast hebben aan de ruwheid van de verjonging, terwijl bij een gat lengte van 500 m dit nog niet het geval is. In dit gat van 500 m zal de luchtstroom een turbulenter karakter hebben dan in het eerste geval. De overgang van het gat naar bos zal bij een gat lengte van 500 m minder groot zijn en daarom zal ook het effect op de droge depositie kleiner zijn, zoals ook is weergegeven in Figuur 2. Dit effect van de 'gat lengte' door noodverjonging en structuurdunning zal naar enkele jaren teniet gedaan zijn door de toenemende hoogte van de verjongingsvegetatie. In werkelijkheid zijn bij noodverjonging, en zeker bij structuurdunning, de gaten nog veel kleiner. Het gat lengte effect op de depositie bij structuurdunning zal daarom waarschijnlijk minimaal zijn, want deze kleine gaten zijn max. 50 m (1 à 3 maal de boomhoogte).

We veronderstellen dat bij noodverjonging de droge depositie over het algemeen groter is in de randen van de onveranderde bosopstand dan bij structuurdunning (kleine gaten). De depositie in het gat zelf zal waarschijnlijk lager zijn dan de depositie in de onbehandelde opstand.

Randen met naaldbossen ontvangen een hogere depositie dan loofhoutbosranden. Dit komt vooral door de blijvende weerstand van de naalden en de naaldoppervlakte in de winter



Figuur 2: Verandering van de depositie door invloed van een bosrand voorafgaand door grasland van verschillende lengtes (DeJong & Klaassen 1997).

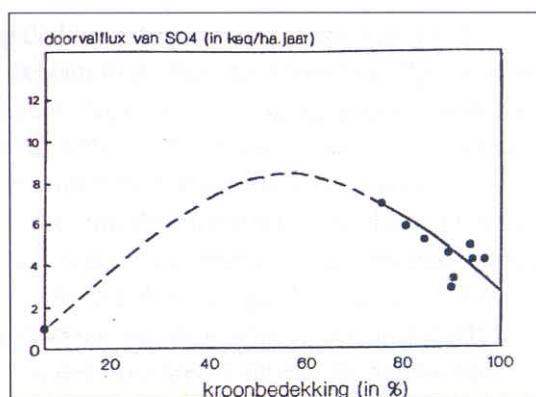
4. Effecten van de maatregelen op de depositie

De belangrijkste factoren die de effecten van structuurdunning en noodverjonging op de depositie van atmosferische stoffen bepalen, zijn (Ivens, Draaijers et al. 1989; Draaijers & Erisman 1993; Draaijers, Leeuwen et al. 1997):

- De verstoring van het verticale windprofiel veroorzaakt door de ruwheid van het oppervlak;
- Totale invangende oppervlak

De structuur van een bosopstand en de ruwheid van het kronendak bepalen in hoge mate de depositie van luchtverontreinigende stoffen op het bos. Hierbij is vooral het verschil in boomsoort verantwoordelijk voor dit verschil. Naaldbossen zullen hierdoor aan een hogere depositie zijn blootgesteld dan loofbossen. Structuurdunning en noodverjonging worden toegepast om in te grijpen in de structuur van een bosopstand. Door dunnen van een opstand neemt de ruwheid van de oppervlakte toe waardoor de turbulentie en daarmee de depositie groter wordt. Tegelijkertijd neemt echter ook het invangend oppervlak af (Bleeker & Draaijers 2001). Als gevolg van een deze maatregel krijgen enkele vrijgezette individuele bomen een grotere kroon dan voorheen in de gesloten bosopstand. Dit heeft als consequentie dat deze individuele, vrijgezette bomen daardoor meer water, mineralen en nutriënten invangen en ook meer water gaan verdampen. Deze individuele bomen zouden dan sterker kunnen reageren op de toegenomen depositie dan de andere bomen in de meer gesloten opstand. Op opstandniveau bewerkstelligt structuurdunning en noodverjonging echter tijdelijk een lagere invangpreferentie van stoffen, en een lagere interceptie en transpiratie van water. In hoeverre de nettodepositie toe of af neemt in de loop van de tijd als gevolg van deze dunnings-ingenrepen en verjonging is onbekend.

Het zeer open of het zeer dicht houden van opstanden vermindert de depositie, die dan overigens wel op andere plaatsen terecht komt. Dit verband, die bestaat tussen kroonbedekking en depositie wordt weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Verband tussen de kroonbedekking en de sulfaat doorvalflux voor 9 Douglasopstanden op de Veluwe (---- = hypothetische curve) (uit Bleeker & Draaijers, 2001)

Bäumlers' onderzoek in de Alpen concludeerde dat een 40% hoogdunning in een gemengde opstand van *Picea abies*, *Abies alba* en *Fagus sylvatica* een grote verandering veroorzaakte in het depositie patroon, waarbij de interceptie en de depositie van individuele ionen tot 45% verminderd werd.

Structuurdunning en noodverjonging zullen meer effect op de effectieve depositie hebben in naaldbossen (vaak monocultuur) dan in (vaker gemengde) loofbossen. Dit komt vooral omdat pure naaldbossen meer invangen dan loofbossen (zie ook tabel 2, waar verwezen wordt naar interceptiepercentage per boomsoort).

De verdamping en neerslag die wordt ondervangen door boomkronen is afhankelijk van de mate van kroondichtheid en lijkt onafhankelijk te zijn van de jaarlijkse neerslag. Jenssen

(1996) constateerde dat de depositie op grove-dennenkronen toeneemt naarmate de kroondichtheid afneemt en bij toenemende wind snelheid. Dit zou kunnen betekenen dat zowel toekomstbomen dunning als structurdunning en respectievelijk de verjongingsdunning van grove den af te raden is, als alleen van de depositie wordt uitgegaan. Daarbij komt nog dat een gesloten kronendak essentieel is voor de stabiliteit van een grove-dennenopstand in regio's met aanzienlijke luchtvervuiling.

Het effect van structurdunning en ook noodverjonging volgens Crockford & Richardson (1990) is:

- dat de doorval toeneemt,
- dat de totale interceptie afneemt maar niet in de zelfde proporties als de verwijderde biomassa; en
- dat de interceptie en de "stemflow" (de afstroming van regenwater langs de stam) verminderen op areaalbases, maar stijgen per individuele boom

In de gedunde beplanting bleek er een positieve relatie te bestaan tussen de interceptie en de "stemflow", maar in de onbehandelde opstand was dit minder duidelijk.

Interceptie verliezen kunnen verminderd worden door dunning, groepenkap en omvorming en door de soorten keuze (Kreutzer & Huser 1978). Deze interceptieverliezen zijn kleiner (in de winter) voor loofbomen dan voor naaldbomen.

Bij omvorming en dunning speelt ook nog de relatie tussen boomsoort en de hoeveelheid ingevangen depositie een rol (Bouwma & Olsthoorn 1997). Om die redenen zou er in een dunning gestuurd kunnen worden naar soort. De soortensamenstelling na dunning of na noodverjonging is medebepalend voor de totale invangende oppervlakte. Het invangend vermogen maar ook de interceptie wordt bepaald door de grootte en dichtheid van de kroon (Jansen & Olsthoorn 2001). Daarnaast zijn er verschillen tussen loof- en naaldverliezende en naaldbehoudende soorten. In tabel 2 zijn de gegevens van (Dolman, Moors et al. 2000) over het jaarlijkse interceptiepercentage van boomsoorten genomen. Douglas, een schaduwboomsoort, scoort hierbij het hoogst. Fijnspar ontbreekt in de tabel maar zou waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte als Douglas uitkomen.

Tabel 2: Het jaarlijkse interceptiepercentage voor verschillende boomsoorten (Dolman, Moors et al. 2000)

Boomsoort	Interceptie %
Douglas	39
Grove den	27
Lariks	21
Amerikaanse eik	14
Zomereik	25
Populier	18
Gemengd bos	28

De gemiddelde jaarlijkse interceptie varieerde van ongeveer 160 mm voor Pinus en Eik tot ongeveer 250 mm voor Beuk en 300 mm voor Picea. De transpiratieflux was vrij constant tussen de soorten en varieerde van 325 mm per jaar voor Pinus tot 385 mm per jaar voor Picea opstanden (De Vries, Reinds et al. 2001).

Noodverjonging gebeurt meestal op kleine schaal en heeft een duidelijke invloed op de algemene bosstructuur. In de verjonging zelf is de structuur vrij egaal en ontstaat er een vrij laag, maar zeer gesloten kronendak, waardoor de interceptieverdamping gedurende meerdere jaren lager is. Gemiddeld verdampt jong bos 10-25% minder dan volgroeid bos (Beusekom, Farjon et al. 1990; Jansen & Olsthoorn 2001).

Op basis van beschikbare kennis over de invloed van de structuur van bosopstanden op de invang van atmosferische depositie, blijkt dat de ideale opstand (met een hoge natuurwaarde!) zwaarder belast wordt met depositie dan een opstand van gelijke soort en leeftijd (Bleeker & Draaijers 2001). Volgens hen zullen individuele dunningen in de Nederlandse

situatie daarom meestal een negatief effect hebben op de depositie van luchtverontreinigde stoffen.

Samenvatting van de effecten op depositie:

Voor noodverjonging en structuurdunning zijn er tegengestelde effecten. Door de grotere ruwheid van het kronendak neemt de depositie toe, met name in randen. In de open gedeelten neemt de depositie juist af. Daardoor is een nettoeffect moeilijk in zijn algemeenheid vast te stellen. Na een toekomstbomendunning is er een korte periode met toegenomen depositie, totdat het kronendak weer gesloten is.

5. Effecten van de maatregelen op de bodem

Onderzoekers vooral in USA maar ook in Europa (Morris & Boerner 1998) hebben aangetoond dat dunningen van opstanden grote veranderingen kunnen veroorzaken in de concentratie van verschillende bodemoplossingen. Tevens beweren zij dat dunning over het algemeen een positieve invloed heeft op de bodem, pH en de beschikbaarheid van voedingsstoffen (N-mineralisatie!) met als gevolg dat dunning ook de vitaliteit van de individuele bomen vergroot.

Het onderzoek van (Bäumler & Zech 1998)) toonde aan dat na dunning bijna alle kationen en anionen in de bodem toenamen, hoofdzakelijk door mineralisatie toename en door vermindering van opname door de boomwortels (minder bomen na de dunning). Echter een jaar na de dunning waren de chemische bodemoplossingen weer in de zelfde staat als voor dunning. Waarschijnlijk komt dit door de grote buffercapaciteit van de bodem.

Ook (Boerner & Sutherland 1997) veronderstellen naar aanleiding van hun onderzoek dat dunning de voedingstoffenopname in de beginfase vermindert. Door dunning neemt de relatieve beschikbaarheid van voedingsstoffen voor individuele bomen echter toe. Tevens beïnvloedt dunning de blad- en bladafval kwaliteit en stimuleert het de vertering en het mineralisatieproces in de bodem. Dit veroorzaakt duidelijke veranderingen in de bodemeigenschappen. De bodems in zeven gedunde opstanden gaven een stijging te zien van pH, NO₃, NH₄ Ca, Mg, K, en Ca/Al ten opzichte van niet gedunde opstanden. Deze niet gedunde opstanden vertoonden in de meeste gevallen en duidelijk hoger getal van Al.PO₄; Al.NH₄, Al. (Pb).

Bij structuurdunning is de kans dat N uitspoelt groot (Bartsch, Brooks et al. 2000), wat ook nadelig kan zijn voor bijv. waterwinning. Indien zure grond een beperking vormt voor de hervegetatie (hergroei) dan kan bekalken overwogen worden.

Ingrepen in de bossamenstelling zullen een soortensamenstelling moeten bevorderen die beter aan de bodemomstandigheden is aangepast en die meer divers kan zijn dan de uitgangssituatie. Een aanname daarbij is dat diversiteit meer stabiliteit geeft en een beter aangepaste boomsoortensamenstelling een betere vitaliteit. Ideeën daarvoor kunnen bijvoorbeeld worden gezocht in d'Ansembourg et al. (2003) en Jansen, Kuiper et al. (2001) en andere literatuur die de laatste jaren is verschenen op het gebied van geïntegreerd bosbeheer. De aangepastheid geschiktheid van de de (menging van) boomsoorten aan de groeiplaats verdient daarbij grote aandacht. Mogelijk kan de groeiplaatskwaliteit via de boomsoortenkeuze zelfs verbeterd worden.

6. Effecten van de maatregelen op de waterhuishouding

Beheersmaatregelen hebben effect op de dichtheid van het kronendak. Een reguliere, dunning, een structuurdunning en ook een noodverjonging zullen tijdelijk de turbulentie doen toenemen, maar bewerkstelligen op opstandniveau tijdelijk een lagere interceptie en transpiratie, waardoor de toelevering aan het grondwater kan toenemen (Jansen & Olsthoorn 2001). Uit onderzoek in de Verenigde Staten blijkt dat volledige kaalkap met spontane hergroei tijdelijk zorgde voor een extra water toevoer in beken (110 tot 250 mm/jaar, zie Hornbeck, Adams et al. 1993). Binnen tien jaar was dit effect echter geheel verdwenen. Ook door de onderzoekers (Veltri, Callegari et al. 2001) werd geconcludeerd dat dunningen van beplantingen in een Middellandse zeeklimaat kan resulteren in een vergroting van de grondwater reserves, speciaal in perioden van water tekort.

Een zelfde tendens werd aangetoond in Australië, waar een forse individuele dunning (50%) in *Eucalyptus regnans* (Mountain ash) gedurende 10 à 15 jaar zorgde voor een grotere grondwateraanvulling en hogere beekafvoer (150 mm/jaar) dan onbehandeld bos (Jayasuriya et al., 1993). Ook (Erskine, Marino et al. 2001) toonden aan dat dunning van inheemse *Eucalyptus* de grondwater reserves verhoogden in Australië. Omdat in Nederland meestal elke 5 jaar wordt gedund zal het beheer zeker van invloed zijn op de watertoelevering. Voor een precieze kwantificering in de Nederlandse omstandigheden ontbreken echter gegevens (Jansen & Olsthoorn 2001).

Tijdens het monitoren van boscystemen in Europa (De Vries, Reinds et al. 2000) werd geconcludeerd dat 5-36% van de variatie in kroonconditie werd verklaard door de leeftijd van de opstand. Daarnaast kon 15-30% van de variatie in bladval verklaard worden door de variatie in regenval, temperatuur, N en S neerslag en de chemische samenstelling van het blad. In een Nederlandse tijdserie-analyse van eiken, grove dennen opstanden werd een duidelijke positieve relatie gevonden tussen bladbezettingsklasse en de hoeveelheid neerslag van NH_x, NO_x en SO_x. Voor de douglas echter werd een negatieve relatie gevonden tussen bladval klasse en de hoeveelheid depositie van NH_x, NO_x en SO_x. (Hendriks, A.F.M. Olsthoorn et al. 2000). Een directe relatie tussen de vitaliteit in een specifiek geval en de maatregelen structuurdunning en noodverjonging is met deze laatste gegevens niet te leggen.

7. Conclusies

Algemene factoren die depositie beïnvloeden

- De depositie is aanzienlijk hoger in de bosranden dan in het centrum van het bosgebied.
- Daarbij ontvangen randen met naaldbomen gemiddeld per jaar een hogere depositie dan bosranden met loofbomen.
- Bosranden werken als een filter en het is een goede methode om de atmosferische neerslag in het centrum van het bos te verkleinen (bufferzones).
- Grote gaten geven meer depositie in het omringende onbehandelde bos dan kleine gaten.

Effecten van de maatregelen op depositie

- Toekomstbomen-dunning (en mogelijk ook structuurdunning) kan de interceptie en de depositie van individuele ionen tot 45% verminderen.
- Structuurdunning en noodverjonging zullen meer effect op de effectieve depositie hebben in naaldbossen (vaak monocultuur) dan in (vaker gemengde) loofbossen.
- Een snelle sluiting van het kronendak zorgt voor een korte periode waarin de depositie verhoogd is. Dit gebeurt vnl. door de geleidelijke afname van de ruwheid van het kronendak na de ingreep.
- De soortensamenstelling na dunning of na noodverjonging is medebepalend voor de totale invangende oppervlakte en daardoor ook voor de ingevangen depositie en interceptie.
- Het is onbekend in hoeverre de netto-depositie toe- of afneemt als gevolg van dunnings-ingrepen en verjonging, door de vele tijdgebonden en kleinschalige effecten.

Effecten van de maatregelen op de bodem

- Toekomstbomen-dunning, maar ook structuurdunning, beïnvloedt de chemische bodemsamenstelling.
- Gedunde opstanden vertonen meestal een tijdelijk hogere pH, met een grotere beschikbaarheid van voedingsstoffen dan voor de dunning.
- Ook hier is een netto effect moeilijk aan te geven.

Effecten van de maatregelen op de waterhuishouding

- Structuurdunning en noodverjonging kunnen zorgen voor een tijdelijke vergroting van de grondwaterreserve en voor een extra waterafvoer in beken indien zij op voldoende grote schaal worden uitgevoerd.
- Bij groepenkap (structuurdunning en maar ook bij noodverjonging) is de kans dat stikstof uitspoelt groot, door de huidige toestand van stikstofverzadiging in de bodem. Dit kan nadelig zijn voor bijv. waterwinning.

Eindconclusie

Door de vele tijdgebonden en kleinschalige effecten van structuurdunning en noodverjonging op het depositieniveau zijn netto-effecten moeilijk aan te geven en te kwantificeren. De maatregelen noodverjonging en structuurdunning zullen waarschijnlijk niet resulteren in afgenomen depositie. De maatregelen zullen vooral ingezet moeten worden om de stabiliteit en vitaliteit van het bos te verhogen. Door middel van een gerichte boomsoortenkeuze, bijvoorbeeld esdoorn of linde, kunnen bodemprocessen worden verbeterd.

Literatuur

- d'Ansembourg, F., Claessens, B., Fennema, A., Groot Bruinderink, G., Heybroek, H., Hommel, P., Hussendörfer, E., Klein, J. de, Koopmans, G., Kooy, F. van der, Olsthoorn, A., Ouden, J. den, Schanz, H., Spek, M., Swart, B., Waal, R. de, Wijk, M. van & Dijs, F. (red.) 2003 Vraag het de bomen. Creativiteit in bosbeheer. Matrijs, Utrecht, 120p.
- Armolaitis, K. & V. Miksys 1996 Environmental changes and forestry in Lithuania. Girionys, Lithuanian Forest Research Institute: 12.
- Bartsch, N., R. T. Brooks, et al. 2000 Element release in beech (*Fagus sylvatica* L.) forest gaps. The science of managing forests to sustain water resources. Proceedings of an International Conference, Sturbridge, Massachusetts, USA, 8-11 November 1998. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution* 122: 1-2, 3-16.
- Bäumler, R. & W. Zech 1998 Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest-Ecology-and-Management*. 108 (3): 231-238.
- Bäumler, R. & W. Zech 1997 Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps. *Forest-Ecology-and-Management* 95 (3): 243-251.
- Beusekom, C. F. v., J. M. J. Farjon, et al. 1990 Handboek grondwaterbeheer voor natuur, bos en landschap. 's Gravenhage, Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap.
- Bleeker, A. & Draaiers, G.P.J. 2001 Literatuurstudie naar de invloed van kroonstructuur en bosranden op de atmosferische depositie in bossen. TNO-rapport nr. R 2001/580.
- Boerner, R. E. J. & E. K. Sutherland 1997 The chemical characteristics of soil in control and experimentally thinned plots in mesic oak forests along a historical deposition gradient. *Applied-Soil-Ecology* 7 (1): 59-71.
- Bouwma, I.M. & Olsthoorn, A.F.M. 1997 Weerstandsverhogende maatregelen in bossen. Rapport IBN-DLO, Wageningen, Nr. 283, 67p.
- Chroust, L. 1991 Ecological aspects of stand thinning in young spruce stands exposed to air pollution stress. *Lesnicti* 37(3): 193-212.
- Crockford, R. H. & D. P. Richardson 1990 Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia: I. Throughfall measurement in a eucalypt forest: effect of method and species composition. *Hydrological-Processes* 4 (2): 131-144.
- De Vries, W., G.J. Reinds, et al. 2000 Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Brussels, EC - UN/ECE: 191.
- DeJong, J. J. M. & W. Klaassen 1997 Simulated dry deposition of nitric acid near forest edges. *Atmospheric environment* 31(22): 3681-3691.
- Dolman, H., E. Moors, et al. 2000 De rol van bossen in de waterhuishouding van Nederland. Brochure Alterra, Wageningen.
- Draaijers, G. P. J., R. v. Ek, et al. 1994 Atmospheric deposition in complex forest landscapes. *Boundary-Layer-Meteorology* 69 (4): 343-366.
- Draaijers, G. P. J. & J. W. Erisman 1993 Atmospheric sulphur deposition to forest stands: throughfall estimates compared to estimates from inference. *Atmospheric-Environment.-Part-A,-General-Topics* 27 (1): 43-55.
- Draaijers, G. P. J., W. Ivens, et al. 1988 Atmospheric deposition on forest edges measured by monitoring canopy throughfall. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution* 42: 129-136.
- Draaijers, G. P. J., E. P. v. Leeuwen, et al. 1997 Base cation deposition in Europe-part I. model description, results and uncertainties. *Atmospheric-Environment* 31 (24): 4139-4157.
- EC – UN/ECE, 2000 De Vries, W., G.J. Reinds, M.S. van Kerkvoorde, C.M.A. Hendriks, E.E.J.M. Leeters, C.P. Gross, J.C.H. Voogd, E.M. Vel. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2000. Technical Report. EC, UN/ECE 2000, Brussels, Geneva, 191 pp.
- Erskine, W. D., M. A. Marino, et al. 2001 Water yield response to integrated native forest management in southeastern Australia. *Integrated-water-resources-management.-Selected-papers-from-an-International-Symposium-on-Integrated-Water-Resources-Management,-University-of-California,-Davis,-California,-USA,-April-2000*. 249-255.
- Erisman, J.W., R. Bobbink & L. Van der Eerden, 1996 Nitrogen pollution on the local and regional scale. Rapport 722108010. RIVM, Bilthoven. 100 p.
- Hendriks, C.M.A., Olsthoorn, A.F.M., Klap, J.M., Goedhart, P.W., Oude Voshaar, J.H., Bleeker, A., De Vries, F., Van der Salm, C., Voogd, J.C.H., De Vries, W., Wijdeven,

- S.M.J. 2000 Relationships between crown condition and its determining factors in the Netherlands for the period 1984 to 1994. Alterra rapport 161, Wageningen, Netherlands, 69p.
- Hornbeck, J. W., M. B. Adams, et al. 1993 Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for Northeastern USA. *Journal of Hydrology* 150: 323-344.
- IKC 1998 De vitaliteit van bossen in Nederland in 1998, IKC.
- Ivens, W., G. P. J. Draaijers, et al. 1989 The impact of air-borne ammonia from agricultural sources on fluxes of nitrogen and sulphur towards forest soils. *Catena* 16 (4-5): 535-544.
- Jansen, A.J.M. & Olsthoorn, A.F.M. 2003 Relatie Bos en waterwinning I en II: Verkenning van samenwerkingsmogelijkheden. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 75 (2): 7-10 en 75 (3): 5-7.
- Jansen, P., L. Kuiper, et al. 2001. De aanleg van geïntegreerde bossen. Een ideeënboek. Wageningen, Stichting Bos en Hout (nu Probos).
- Jenssen, M. 1996 Interception loss and horizontal distribution of precipitation in Scots pine stands in the NE German lowlands - an example of the interaction of process and structure in forests. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 30 (2): 63-69.
- Klap, J. M. & P. Schmidt 1992 Maatregelen om effecten van eutrofiering en verzuring in bossen tegen te gaan Hinkeloord reportsno. 3 Wageningen Agricultural University 140 p. .
- Klein M.H.J., H.M. Beijer, et al. 1996 De effecten van de integrale notitie mest- en ammoniakbeleid op de ammoniakproblematiek in relatie tot natuur en bos in de ecologische hoofdstructuur. Wageningen: 80.
- Klein, M. H. J., I. Hordings, et al. 2000 Overlevingsplan bos en natuur. Handleiding subsidie effectiefgerichte maatregelen 2001. Wageningen, Expertise Centrum LNV.
- Kreutzer, K. & R. Huser 1978 The influence of forest management on water yield and quality. *Forstwissenschaftliches-Centralblatt* 97 (2): 80-92.
- Kubelka, L., 1993 Forest regeneration in the heavy polluted ne 'Krushe Hory' Mountains. Czechy Ministry of Agriculture, Prague. 131 p.
- Morris, S. J. & R. E. J. Boerner 1998 Interactive influences of silvicultural management and soil chemistry upon soil microbial abundance and nitrogen mineralization. *Forest-Ecology-and-Management* 103 (2-3): 129-139.
- Slodicak, M. 1995 Thinning of air polluted stands of Norway spruce. Management of Forest damaged by Air pollution. IUFRO Workshop, Trutnow.
- Slovik, S., A. Balazas, et al. 1996 Canopy throughfall of *Picea abies* (L.) Karst. as depending on trace gas concentrations. *Plant-and-Soil* 178 (2): 295-310.
- Veltri-A; Callegari-G; Iovino-F, 2001 Effect of black pine forest management on water balance. *Impatto della gestione dei rimboschimenti di pino laricio sul bilancio idrico. Italia-Forestale-e-Montana* 56 (5): 352-361.
- De Vries, W., Reinds, G.J., Van der Salm, C. Draaijers, G.P.J., Bleeker, A., Erisman, J.W. Auée, Gundersen, P., Kristensen, H.L., Van Dobben, H., De Zwart, D., Derome, J., Voogd, J.C.H. & Vel, E.M. 2001 Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. Technical report 2001. Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute FIMCI, EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 177p.
- Weathers, K. C., G. M. Lovett, et al. 2000 The effect of landscape features on deposition to Hunter Mountain, Catskill Mountains, New York. *Ecological-Applications* 10 (2): 528-540.
- World Health Organization (WHO), 2000 Air quality guidelines for Europe. Second edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>
- Wijdeven, S. M. J., C. van den Berg, et al. 2003 Natuurlijke verjonging: van kleine naar grote gaten *Vakblad natuurbeheer* 42 (6): 111-115.

Enige gebruikte termen

Depositie: Neerslag van stoffen vanuit de lucht (luchtverontreiniging) op een ecosysteem (vaak verzurend en vermestend). De depositie bestaat uit *droge depositie* en *natte depositie*. Zie ook *effectieve depositie* en *totale depositie*

Doorval: Gedeelte van de neerslag die in een bos door de kroonlaag heen komt en op de bodem terechtkomt. Vaak wordt er een watercomponent en een vervuilingcomponent onderscheiden. Doorval = regen - *interceptie*.

Doorvalflux: *Doorval* uitgedrukt per tijdseenheid.

Droge depositie: Deel van de depositie die in droge vorm, vaak als zouten, op de bomen wordt afgezet. In Nederland is het aandeel ammoniumsulfaat vrij hoog.

Effectieve depositie: de optelsom van *droge depositie* en *natte depositie*. Dit is in dit rapport ok wel de *totale depositie* genoemd.

Evaporatie: Verdamping van water van een oppervlakte (vegetatie of bodem) zonder dat dit via planten verloopt, bijvoorbeeld de *interceptie*.

Interceptie: Water dat na regen in de kroonlaag blijft hangen en verdampt zonder te zijn opgenomen door bomen of bodem. Per regengebeurtenis is meestal ongeveer de eerste 2 mm interceptie. De interceptie is hoger als de LAI hoger is en is bij naaldbomen hoger omdat daar de naalden 's winters ook aanwezig zijn.

Natte depositie: Deel van de depositie dat met de regen naar beneden komt in een ecosysteem. Op dat moment wordt (een groot deel van) de *droge depositie* ook verplaatst.

Totale depositie: de optelsom van *droge depositie* en *natte depositie*. Dit is in dit rapport ok wel de *effectieve depositie* genoemd.

Transpiratie: Verdamping van water via de vegetatie.

De termen Totale en Effectieve depositie worden in dit rapport door elkaar gebruikt, omdat dit in de geciteerde literatuur ook zo gebruikt werd en de definities in de bronnen iets kunnen afwijken. Een vereenvoudiging kan dan leiden tot misverstanden.