
Deskstudie Schinveldse Bos

Definitief, 16 juni 2008

Verantwoording

Titel	Deskstudie Schinveldse Bos
Opdrachtgever	Ministerie VROM, DGM/LMV
Projectleider	ing. H. (Harry) Prinsen
Auteur(s)	ir. W.H. (Wytse) Dassen ir. A.J. (Adrie) Otte en mr. ing. G.J. Kremers
Projectnummer	4565839
Aantal pagina's	32 (exclusief bijlagen)
Datum	16 juni 2008
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
afdeling Water
Rhijnspoor 209
Postbus 6
2900 AA Capelle aan den IJssel
Telefoon (010) 288 61 00
Fax (010) 288 61 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001.

Inhoud

Verantwoording en colofon	3
1 Inleiding.....	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Leeswijzer	7
2 Literatuurstudie	9
2.1 Situatieschets	9
2.2 Emissie-immissie route.....	11
2.3 Resultaten literatuurstudie.....	12
2.3.1 Grondwaterkwantiteit.....	12
2.3.2 Grondwaterkwaliteit	12
2.4 Jurisprudentie	17
3 Interviews	18
4 Effecten per deelgebied op de grondwaterkwaliteit.....	23
4.1 Effecten 6 ha reeds uitgevoerde kaalkap	23
4.2 Effecten 1 ha voorgenomen kaalkap	23
4.3 Effecten 13 ha voorgenomen beheer	23
4.4 Effecten totaal	23
5 Conclusies en aanbevelingen	25
5.1 Inleiding	25
5.2 Effecten op de waterkwantiteit	25
5.3 Effecten op de grondwaterkwaliteit	25
5.4 Effecten op het grondwaterbeschermingsgebied	26
5.5 Aanbevelingen.....	26
6 Referenties	29

Bijlage(n)

1. Tekeningen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om de veiligheid te garanderen van de vliegtuigen (AWACS) die landen op de nabijgelegen NAVO-luchtbasis in het Duitse Geilenkirchen is in de week van 9 januari 2006 circa 6 hectare bos in Schinveld (gemeente Onderbanken) gekapt in opdracht van de Minister van Defensie, mogelijk gemaakt door een vrijstellingsbesluit van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (besluit van 20 maart 2006 met kenmerk 2006246334). Het besluit op bezwaar tot de kap is vernietigd door de Raad van State op 18 juli 2007 mede omdat geen gericht onderzoek is uitgevoerd naar de effecten van de kap op de grondwaterbescherming (grondwaterkwaliteit en grondwaterkwantiteit). Het niet uitvoeren van het onderzoek is volgens de Raad van State in strijd met de bij het voorbereiden van een besluit te betrachten zorgvuldigheid. Voor 9 juni 2008 dient een nieuw besluit op bezwaar door de Minister van VROM te worden genomen (uitspraak Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State van 29 april 2008).

Dit rapport geeft inzicht in de effecten van het kappen van bos op de grondwaterkwaliteit en grondwaterkwantiteit binnen en buiten het grondwaterbeschermingsgebied. Hiermee wordt door de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer invulling gegeven aan de zorgvuldigheid die nodig is bij het voorbereiden van een nieuw besluit.

Het onderzoek begint met een literatuuronderzoek en een beschrijving van de situatie en jurisprudentie. Hieruit zijn vragen gedestilleerd die zijn voorgelegd aan experts. De experts zijn geraadpleegd aan de hand van interviews.

1.2 Leeswijzer

Als eerste worden in hoofdstuk 2 de bevindingen van de literatuurstudie gebruikt om verschillende effecten en de jurisprudentie te beschrijven. In hoofdstuk 3 worden de interviews met experts uiteen gezet waarin de vragen zijn voorgelegd. In hoofdstuk 4 worden de effecten per deelgebied weergegeven waarna in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen en de effecten worden beschreven. De gebruikte referenties zijn weergegeven in hoofdstuk 6.

2 Literatuurstudie

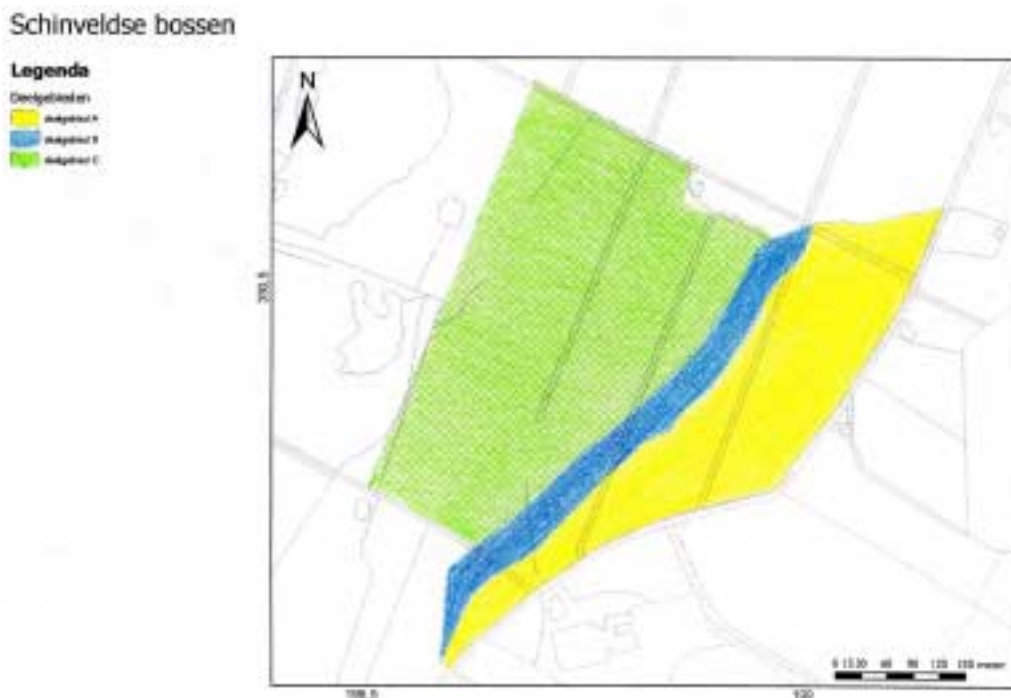
2.1 Situatieschets

Het onderzoek heeft betrekking op 20 ha van de Schinveldse bossen. Het gebied bestaat uit drie delen: 6 ha gekapt bos waarbij korte boomstronken zijn blijven staan, 1 ha bos waar nog gekapt zou moeten worden en 13 ha bos waar in de toekomst te hoog doorgroeiende bomen om veiligheidsredenen moeten worden afgezaagd of geringd.

De te kappen delen liggen langs de grens met Duitsland. Daarnaast ligt het voor een klein deel in een grondwaterbeschermingsgebied (zie figuren 2.1 en 2.2). Ten oosten van het gebied ligt de NAVO-luchtbasis Geilenkirchen. Zie voor een situatieschets van de volledige obstakelvrije zone bijlage 1.



Figuur 2.1 Het rode geeft het kapgebied aan



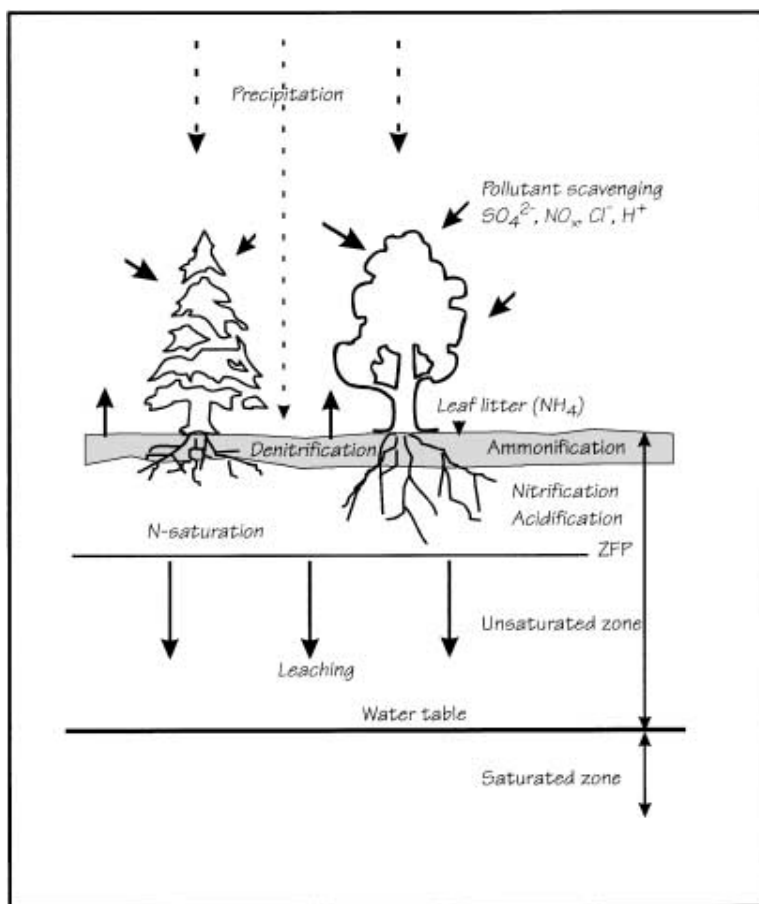
Figuur 2.2. Ligging van de drie deelgebieden (A = 6 ha, B = 1 ha, C = 13 ha).

Verdere factoren die van belang kunnen zijn in het onderzoek zijn:

- Het gehele bos bedraagt circa 360 ha
- De bomen in het kappegebied van 6 ha zijn afgezaagd tot tussen 0,1 en 1 meter boven de grond en vervolgens zal een hakhoutbeheer worden uitgevoerd in het bos in zowel deze 6 ha als in de nog te kappen 1 ha
- De gekapte bomen zijn voornamelijk zwarte els en berk
- De boomstronken zijn niet verwijderd
- Er is / wordt geen organisch materiaal (bomen en humus) afgevoerd
- De hoeveelheid luchtvervuiling blijft constant (niet meer vliegtuigbewegingen)
- De vliegprocedures en –routes van het vliegveld veranderen niet, maar een deel van de starts kan een iets lagere vlieghoogte krijgen na de zaagwerkzaamheden
- De bodem bestaat uit fijn en grof zand, met een kleilaag tussen 4 en 7 meter diepte
- De ouderdom van de bomen voor kap is niet bekend
- Er wordt circa 6 ha nieuw bosgebied gecreëerd binnen de gemeente Onderbanken

2.2 Emissie-immissie route

Stoffen die het grondwater bereiken kunnen dat via verschillende routes hebben gedaan (zie figuur 2.3).



Figuur 2.3 Lotgevallen van stoffen in lucht, bodem en grondwater

Neerslag (droog of nat) valt op de bladeren van de bomen. Via de stam of direct druppelen waterdruppels na en tijdens een regenbui naar de grond, waarbij de stoffen opgelost of in vaste vorm worden meegenomen. Bladeren zorgen ervoor dat meer stoffen worden opgevangen in een situatie zonder bomen. De bladeren doen zelf niets met de stoffen.

In de bodem worden de meeste stoffen met het inzakkende water meegenomen richting de verzadigde grondwaterzone, waarbij sommige stoffen, zoals stikstofverbindingen, opgenomen kunnen worden door de boomwortels of wortels van lagere begroeiing.

Bomen laten dode bladeren en takken vallen en deze komen als dood organisch materiaal op de bodem van het bos te liggen. Dit organische materiaal mineraliseert, doordat dieren en schimmels het organische materiaal verteren. Hierbij komen anorganische stoffen vrij. Stikstof komt hierbij vrij in de vorm van ammonium (*ammonificatie*). Dit ammonium wordt door bacteriën omgezet tot nitraat. Dit proces heet *nitrificatie* en bij dit proces komt zuur vrij. Nitrificatie werkt daarom verzurend in de bodem. Nitraat kan onder zuurstofloze omstandigheden omgezet worden in stikstofgas. Dit proces heet *denitrificatie*.

Het bij nitrificatie vrijkomende zuur wordt in de bodem door chemische reacties geneutraliseerd. Bij dit proces komt calcium vrij. Is de bodem uitgeput van calcium, dan verzuurt de bodem en komt kalium vrij. Raakt kalium uitgeput dan verzuurt de bodem verder en kunnen metalen zoals aluminium uitlogen. De pH heeft dan een waarde van 3 tot 4 bereikt.

2.3 Resultaten literatuurstudie

Hieronder worden de bevindingen uiteengezet van de literatuurstudie.

In het studiegebied zijn verschillende aspecten van belang. Het gaat om het verschil in grondwaterbeïnvloeding door bos tegenover lagere begroeiingen en daarnaast om de beïnvloeding van het kappen zelf. Hoewel lagere vegetatie een positievere invloed heeft op de grondwaterkwaliteit dan bos, heeft de actie van het kappen zelf een negatieve invloed.

2.3.1 Grondwaterkwantiteit

In bos is de hoeveelheid neerslagwater dat het grondwater bereikt kleiner dan in gebieden met lage vegetatie. Dit wordt veroorzaakt door twee mechanismen:

- Regenwater valt voor een groot deel op de bladeren en een deel daarvan verdampt vanaf de bladeren zonder ooit de bodem te bereiken
- Bomen nemen meer water op uit de bodem (en van een grotere diepte) dan lage vegetatie. Dit betekent dat er minder water overblijft om weg te zakken naar de verzadigde zone

2.3.2 Grondwaterkwaliteit

De grondwaterkwaliteit is een functie van verschillende factoren (Hall et al., 1996). Het betreft de chemische samenstelling van regen en andere atmosferische deposities, chemische en biologische reacties van vaste en opgeloste stoffen in de bodem, de verwerking van mineralen in de bodem (uitspoeling) en de eigenschappen van het bos. Hieronder worden de verschillende aspecten een voor een behandeld.

Deposities

Depositie is het transport van stoffen uit de atmosfeer (ook regen) naar bodem, vegetatie of water. Droge depositie in bosgebieden is meestal significant hoger dan bij grondgebruiksvormen met korte vegetaties zoals heide of (schraal) grasland. Dit wordt veroorzaakt door de grotere turbulentie van de lucht in bos en het grotere contactoppervlak van bos (Tolkamp & Olsthoorn, 2006; Tietema, 1999; Harding et al. 1992; van der Burgh & Lekatompeppy-van der molen, 1997). Bij droge depositie gaat het om stoffen als zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH₃), fijnstof en zware metalen.

Zwavel- en stikstofverbindingen zijn kwantitatief beschouwd de belangrijkste elementen in de depositie (Jansen & Olsthoorn, 2003). Brechtel (1992) geeft aan dat bomen atmosferische depositie twee tot drie keer effectiever invangen dan korte vegetatie.

Omdat bij andere grondgebruiksvormen met korte vegetaties zoals heide of (schraal) grasland de invang van schadelijke stoffen uit de lucht minder is dan bos, is de grondwaterkwaliteit onder deze vormen van grondgebruik beter. Bij een betere luchtkwaliteit zal ook bij bos de grondkwaliteit verbeteren (van der Burgh & Lekatompey - van der Molen, 1997).

Conclusie:

In bos is de depositie van vervuilende stoffen groter dan in korte vegetaties. Een factor 2 tot 3 worden in de literatuur genoemd.

Reacties in de (bos)bodem

Belangrijke reacties en processen die in de bodem plaatsvinden zijn:

- Afbraak van organisch materiaal
- Nitrificatie (omzetting van ammonium in nitraat) en denitrificatie (omzetting van nitraat in stikstof)
- Verzuring, veroorzaakt door nitrificatie

Deze processen beïnvloeden elkaar onderling en zijn dan ook niet los van elkaar te zien. De mate waarin de processen verlopen en de snelheid waarmee ze verlopen, hangen af van de bodemsoort, het (micro)klimaat en de begroeiing.

Dode bladeren en takken die van de bomen vallen vormen een laag organisch materiaal op en in de bosbodem. Onder invloed van vele organismen wordt dit materiaal afgebroken (gemineraliseerd). Hierbij komen voedingsstoffen vrij die met het (regen)water in de bodem zakken en die weer opgenomen worden door de bomen en de andere planten.

Bosbodems zijn rijk aan organisch materiaal en hebben daardoor interstitieel water met een lagere pH dan het interstitiële water van bijvoorbeeld heidevelden en graslanden (Moss & Edmunds, 1992). Ook de vorming van sterk zure anionen zoals sulfaat (SO_4^{2-}) is sterker onder bosbodems. Deze zuren lossen carbonaat in de bodem op, waarbij ook calcium en magnesium oplossen. Het verlies van deze basische kationen uit de bodem en de toename van zure stoffen uit de afbrekende bladeren zorgen voor een verzuring van het infiltrerende water helemaal tot in de verzadigde zone (Allen & Chapman, 2001; Gundersen & Rasmussen, 1990). Zure depositie versterkt dit effect. De mate waarin de bodem en het grondwater verzuren hangt af van de buffercapaciteit van de bodem. Hoe kalkrijker de bodem, des te langer duurt het voordat verzuring optreedt.

Door de verzuring van de bodem loogt deze uit en neemt de oplosbaarheid van sporenelementen sterk toe. Verder leidt de verzuring tot een vertraging van de afbraak en dus ophoping van organisch materiaal in de strooisellaag (Bade & van der Schroeffer, 2006). Dit gaat gepaard met een toename van oplosbaar organisch materiaal, dat als transportmiddel kan dienen voor vastgelegde sporenelementen en organische microverontreinigingen. Metalen en microverontreinigingen die als gevolg van de verzuring van de bodem in het bos mobiel worden, kunnen ook uitspoelen naar het grondwater en de grondwaterkwaliteit beïnvloeden. Anderzijds heeft het ophopen van organisch materiaal ook een verhogend effect op de uitspoeling van nitraat (NO_3^-) richting grondwater doordat door de ophoping meer organische stof wordt vastgelegd.

De meer gereduceerde verbindingen zwaveldioxide (SO_2) en ammonium (NH_4^+) oxideren uiteindelijk tot sulfaat (SO_4^{2-}) en nitraat (NO_3^-), die beide zeer mobiel zijn in het grondwater. Uit balansstudies blijkt dat de meeste bosbodems op dit moment verzadigd zijn met sulfaat, maar dat in de bossen nog steeds ophoping van nitraat optreedt (Jansen & Olsthoorn, 2003). Door maatregelen neemt de depositie van zwavel- en stikstofverbindingen de laatste jaren echter af. Vermindering van deze verbindingen geeft een bijna evenredige afname van zure componenten en aluminiumuitloging (De Vries et. al, 1995). Vermindering van verzurende componenten leidt tot een significant, zei het bodem specifiek, herstel van verzuring (Dirnböck et. al, 2007).

Door zowel de verhoogde invang van depositie in bossen en de grotere toevoer van organisch materiaal in de bodem, treedt sneller stikstofverzadiging van de bosbodem op (Stevens & Hornung, 1988). Als de bodem eenmaal stikstofverzadigd is, percoleert nitraat het grondwater tot in de verzadigde zone (Johnson, 1992). Vergrote stikstofdepositie zorgt bovendien voor verrijking (eutrofiëring) van de bodem (Dirnböck et. al, 2007).

De belangrijkste effecten van stikstofverzadiging van de bosbodems zijn:

- Toegenomen nitrificatie, dat leidt tot verzuring en weglekken van nitraat naar de verzadigde zone in het grondwater
- Toegenomen denitrificatie, waarbij nitraat biologisch omgezet wordt tot stikstofgas en het broeikasgas stikstofoxide (Allen & Chapman, 2001)

Conclusie:

Bosbodems zijn rijk aan organisch materiaal dat continu mineraliseert. De vrijgekomen ammoniumgroepen nitrificeren tot nitraat en een deel denitrificeert. Nitrificatie leidt tot verzuring van de bodem. Bodems onder bos zijn daardoor zuurder dan bodems onder andere begroeiingen, maar de mate van verzuring is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de bodem. Verzuring zorgt voor meer uitloging van zware metalen, stikstof- en zwavelverbindingen naar het grondwater, maar de mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de eigenschappen van de bodem. De grotere depositie in bossen leidt tot meer invang van eutrofiërende stoffen en lekken hiervan naar het grondwater. Onder bossen lekt meer nitraat naar het grondwater dan onder korte vegetaties.

Overige beïnvloeding grondwaterkwaliteit

Behalve door verhoogde invang van stoffen en een sterkere verzuring, speelt ook de hogere verdamping van water in bossen een rol. Bomen verdampen meer water dan korte vegetaties; het waterverlies is in de grond onder bomen hoger dan onder korte vegetaties en zelfs kale grond, ondanks dat in de laatste situatie de grond warmer wordt dan onder vegetatie. Door een hogere verdamping wordt het grondwater geconcentreerd; concentraties van vervuilende stoffen nemen toe (Jansen & Olsthoorn, 2003). Daarnaast is de totale infiltratie van water in bossen minder dan in heide of grasland. Bosbodems bevatten meer organisch materiaal en houden water daardoor langer vast. Alles tezamen betekent dit dat het bij een verslechtering van de kwaliteit van de depositie langer duurt voordat vervuiling het grondwater bereikt dan bij heide of grasland (Allen & Chapman, 2001).

Conclusie:

Bossen verdampen meer water dan korte vegetatie en zorgen er zo voor dat stoffen in het grondwater geconcentreerd worden. Het duurt langer voordat veranderingen in de kwaliteit van de depositie in het grondwater onder bossen invloed hebben dan onder korte vegetaties.

Gevolgen kap van bomen

In de vorige paragrafen is ingegaan op de invloed van bos op de grondwaterkwaliteit. In deze paragraaf wordt ingegaan op het kappen van bomen.

Het kappen van bomen heeft gevolgen voor processen in en op de bodem. Hierdoor is er beïnvloeding van de mate waarin water en stoffen doordringen tot het grondwater.

Kaalkap

De uitspoeling is in grootschalige kaalkap groter dan in kleinschalige dunningskap (Rothe & Mellert, 2004). Daarnaast kan kaalkap effect hebben op de balans tussen nitrificatie en denitrificatie, omdat het leidt tot een vertwee- tot verdrievoudiging van de stikstofmineralisatie (Granhall, 1992). In het grondwater op een diepte van 50 cm nam de nitraatconcentratie een factor 20 toe na kaalkap ten opzichte van de 6 jaar ervoor (Jones et al., 1998). Ten opzichte van ongestoorde systemen neemt het verlies van nutriënten toe. Na een kap was de hoeveelheid uitgespoelde stikstof even groot als de jaarlijkse turnover in een ongestoord systeem. Verlies van kationen was 3 tot 20 keer groter (Bormann et al, 1968). De hoeveelheid organisch gebonden stikstof en koolstof is lager in kapegebieden dan in natuurlijk bosgebied (Pennock & van Kessel, 1997).

Door naast de kap van bomen ook de strooisellaag te verwijderen wordt de tijdelijk verhoogde uitspoeling van nitraat door verstoring gereduceerd. Ook in dit geval doet de kap van het oude bos de positieve effecten gedeeltelijk teniet, wanneer de strooisellaag niet ook verwijderd wordt. Wanneer kapverliezen als takken en dergelijke achterblijven op de bodem, neemt de nitrificatie sterk toe. Wordt het organisch afval verwijderd, bijvoorbeeld voor de voorbereiding voor het herbepanten, dan neemt de denitrificatie toe (Virzo de Santo, 1992).

Bij een uitgebreid onderzoek naar kaalkap bleek dat kaalkap leidt tot een ernstige verstoring van het ecosysteem. Het leidde tot uitloging van nutriënten uit de bodem, toegenomen verzuring en verhoging van aluminiumionen in bodemwater en beekwater.

Deze effecten werden veroorzaakt door nitrificatie, waarbij salpeterzuur (HNO_3) ontstaat in zowel de bosbodem als in de minerale bodem. Het zuur werd grotendeels geneutraliseerd door de uitloging van basische kationen en anorganische Al-ionen. De meeste uitlogende nutriënten kwamen uit de ondiepe bosbodem. De verstoring van de chemische huishouding was het sterkst in het tweede jaar na de kaalkap en normaliseerde in het vierde tot vijfde jaar (Dahlgren & Driscoll, 1994). De bodems in zeven gedunde opstanden gaven een stijging te zien van pH, NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , en Ca/Al ten opzichte van niet gedunde opstanden. Deze niet gedunde opstanden vertoonden in de meeste gevallen en duidelijk hoger getal van $\text{Al}(\text{PO}_4)$, $\text{Al}(\text{NH}_4)$, $\text{Al}(\text{Pb})$ (Boerner & Sutherland, 1997).

Kaalkap leidt tot uitputting van nutriënten in het bosesystemen door (Bormann et al., 1968)

- Een afname van de verdamping en daarmee toename van inzakkend water
- Afname van de worteldichtheid waardoor de opname van nutriënten uit het inzakkende water afneemt
- Verwijdering van nutriënten door verwijdering van de gekapte bomen
- Tijdelijke opname van organisch materiaal dat beschikbaar is voor mineralisatie
- Soms stimuleert kap de mineralisatie door het ontstaan van gunstiger omstandigheden in het microklimaat

Uiteindelijk leidt kaalkap tot minder verdamping, waardoor er meer water het grondwater bereikt. Hierdoor én door de vermindering van de depositie wordt de grondwaterkwaliteit uiteindelijk beter (Jansen en Olsthoorn, 2003). In een productief bos kan de nitraatuitspoeling beperkt blijven door aanplant van jonge bomen die het nitraat weer vastleggen (Tolkamp & Olsthoorn, 2006).

Structuurdunning

Structuurdunning is het selectief verwijderen van groepen bomen om ter plaatse een meer structuurrijk bos te realiseren (Tolkamp & Olsthoorn, 2006). Bij structuurdunning is de kans dat stikstofverbindingen uitspoelen groot (Bartsch et al., 2000), wat ook nadelig kan zijn voor waterwinning. Door de maatregelen van dunning en verjonging komt er meer licht op de bodem en zal de bodemtemperatuur stijgen (Hendriks, Olsthoorn et al. 2000). Hierdoor worden (afbraak)processen op de bodem versneld.

Hakhoutbeheer/zagen

Over het effect van hakhoutbeheer en (selectief) zagen op de grondwaterkwaliteit is niets bekend. Op basis van bovenstaande lijkt het effect klein.

Biodiversiteit

Het is denkbaar dat een verandering van de biodiversiteit in en op de bodem van invloed is op de processen in de bodem die de grondwaterkwaliteit beïnvloeden. Er is onderzoek gedaan naar de invloed van biodiversiteit van graslanden op de hoeveelheid opgelost organisch koolstof dat naar het grondwater lekt. Hieruit blijkt dat de hoeveelheid uitspoelend organisch koolstof lager is naarmate de soorten diversiteit (planten) toeneemt ((Steinbeiss et al., 2005). Opgelost organisch koolstof kan door complexvorming metalen meenemen naar het grondwater. Het ontwikkelen van een soortenrijke vegetatie na de kap heeft dus een positieve invloed op de grondwaterkwaliteit.

Conclusie:

Grootschalige kap van bomen heeft grote gevolgen voor het ecosysteem en daarmee voor de uitloging van stoffen naar het grondwater. De eerste jaren na de kap neemt de uitloging van stikstofverbindingen naar het grondwater tot een factor 20 toe. Ook basische kationen worden sterker uitgeloozd waardoor de bodem verzuurt. Als de bodem sterk verzuurt, spoelen ook aluminiumionen uit. De negatieve effecten van kappen op het grondwater zijn te verminderen door direct nieuwe bomen aan te planten.

Bij structuurdunning vergroot de uitspoeling van stikstof en neemt daarmee de verzuring toe. Doordat meer licht de bosbodem bereikt, warmt deze op en verlopen (afbraak)processen sneller. Over de effecten van hakhoutbeheer en zagen op de grondwaterkwaliteit is geen literatuur gevonden.

Het ontwikkelen van een soortenrijke vegetatie na de kap heeft een positieve invloed op de uitspoeling van opgelost organisch koolstof en daarmee het uitlogen van metalen.

2.4 Jurisprudentie

Het verband tussen het kappen van bomen en de verslechtering van de luchtkwaliteit wordt dikwijls naar voren gebracht in procedures inzake kap- en velvergunningen. Een dergelijk betoog zal door de rechter niet snel worden gehonoreerd omdat de gevolgen van een dergelijke ingreep niet ter beoordeling staat in de procedure betreffende kapvergunningen (zie bijv. LJN:BDO 400, vz Rb Amsterdam, 16/4/12008).

Dit brengt met zich mee dat er bij de behandeling in zulke rechtszaken in principe niet inhoudelijk wordt ingegaan op dit onderwerp wat niet wegneemt dat er uitzonderingen kunnen voorkomen. Zo is er in een van de uitspraken de volgende rechtsoverweging (LJN:BC 4016, vz Rb 's-Gravenhage, 1/2/2008):

"Verzoekers hebben ook gesteld dat de kap zal leiden tot een verslechtering van de luchtkwaliteit. De voorzieningenrechter is van oordeel dat een dergelijk argument van belang is in de procedure in het kader van reconstructie van de weg en dat dit geen rol van betekenis kan spelen in deze procedure. Voor zover verzoekers betogen dat bomen een positieve bijdrage leveren aan de luchtkwaliteit en dit door de kap wegvalt, merkt de voorzieningenrechter op dat de herplant, op termijn, compensatie biedt."

Zoals ook uit deze rechtsoverweging kan worden afgeleid, wordt de luchtkwaliteit niet getoetst in het kader van de kapvergunning maar moet worden meegenomen tijdens het ruimtelijke ordeningstraject. Er zijn geen uitspraken gevonden inzake ruimtelijke ordeningsbesluiten waarin door de bestuursrechter inhoudelijk wordt ingegaan op het verband tussen het kappen van bomen en de luchtkwaliteit. Evenmin zijn er uitspraken gevonden over dit onderwerp met betrekking tot bestemmingsplannen. Er zijn echter veel uitspraken te vinden op de volgende combinatie van trefwoorden: bestemmingsplan+bomen+luchtkwaliteit (circa 60 stuks op www.raadvanstate.nl). Een steekproef laat zien dat het trefwoord bomen wellicht dikwijls verwijst naar bomenfactor en niet naar het onderwerp van deze studie.

3 Interviews

De heer dr. A. (Albert) Tietema (UvA)

De heer Tietema is als docent aardwetenschappen/bioloog verbonden aan de UvA. Hij heeft verschillende publicaties over de relatie tussen de aanwezigheid van bossen en de grondwaterkwaliteit op zijn naam staan: 'Nitraatuitspoeling in een intrekgebied bestudeerd met een dynamisch GIS', 1999 en 'Validatie van gemodelleerde nitraatuitspoeling in bossen', 2000.

Door de kap zal er meer nitraat uitspoelen en ook meer calcium. Kalium en andere stoffen zijn niet verhoogd te verwachten vanwege de bufferingscapaciteit van de bodem. De bodem is waarschijnlijk kalkrijk. Aluminiumuitspoeling is al helemaal niet te verwachten, daarvoor moet de pH lager zijn dan 3 à 4. Ook andere metalen en microverontreinigingen spoelen hier waarschijnlijk niet uit. Pas als de kalk op is, zal er eerst kalium uitspoelen. Is kalium op, dan pas komen andere metalen aan de beurt.

Een verhoogde depositie aan de nieuwe bosrand is te verwachten na een aantal jaren als de bosrand zich volledig heeft ontwikkeld. De nitrificatie neemt daar toe, evenals uitspoeling van nitraat en calcium. Uitspoeling van andere stoffen is niet te verwachten.

Of er netto een verhoging of verlaging van de depositie op zal treden, is moeilijk te zeggen, omdat dit afhangt van de onderlinge verhoudingen (grootteverdelingen) en windrichting. Op het kaartje te zien neemt de totale bosrandlengte in het gebied niet toe, maar het bosoppervlak wel af. Dit zou betekenen dat de totale depositie in het gebied afneemt. Omdat het kapgebied echter klein is ten opzichte van het totale bosgebied, zal de uitspoeling naar het grondwater niet merkbaar toenemen.

De boomstronken en de strooisellaag kunnen het beste blijven zitten. Dit om verstoring van de bodem te voorkomen. Verstoring levert een (tijdelijk) hogere nitrificatie op en verstoort het bestaande ecosysteem te sterk. De voordelen zijn beperkt.

Op de grondwaterkwaliteit onder het grondwaterbeschermingsgebied is geen effect te verwachten omdat het kapgebied te klein is voor een merkbaar effect. Daarbij is de uitspoelingspiek na de kap relatief kort (enkele jaren). Als er ergens in het grondwaterbeschermingsgebied een landbouwgebiedje ligt, veroorzaakt deze een veel grotere uitspoeling van nitraat dan dit stukje bos.

Om de uitspoelingspiek te verminderen, kun je het best nieuwe beplanting neerzetten of de boomstronken weer uit te laten groeien. Zoals hiervoor aangegeven is het niet aan te bevelen om de boomstronken en de strooisellaag weg te halen.

De heer dr. ir. A.F.M. (Ad) Olsthoorn (Larenstein)

De heer Olsthoorn heeft moeite met de vragen. De processen die zich in de bodem afspelen hangen sterk af van de lokale omstandigheden, omstandigheden die beter bekend moeten zijn dan nu het geval is en overeen moeten komen met omstandigheden in bossen waar gemeten is aan grondwaterkwaliteit en depositie.

Olsthoorn verwijst naar een rapport dat hij enige jaren geleden heeft gemaakt, waarin ook een dergelijk, enigszins onbevredigend, algemeen antwoord staat als gevolg van dunningsmaatregelen in bossen. Dit literatuuronderzoek was deel van een Evaluatieonderzoek van Effectgerichte maatregelen in bossen (EGM, in het kader van OBN, destijds nog als afkorting van Overlevingsplan Bos en natuur). Dit onderzoek is te downloaden van de Alterra website (Tolkamp & Olsthoorn, 2006).

Om een meer betrouwbare kwantitatieve inschatting te maken van de netto effecten die wij zoeken, zal een veel grotere inspanning nodig zijn, hetzij via uitgebreider literatuuronderzoek dan hij kon doen in bovenstaand onderzoek, of via bodemkundige modellering, wat hij in dit geval zou aanraden.

Naar zijn idee is het lastig om juist een finale kwantificering te maken van de netto effecten, omdat er zowel ruimtelijk als temporeel erg veel middeling van processen optreedt. Het is dus voor hem onmogelijk om op deze manier antwoord te geven op de vragen.

De heer ir. K.W. (Klaas) van der Hoek (RIVM)

De heer van der Hoek begint met de opmerking dat het voorliggende probleem te ingewikkeld is om in algemene termen en zonder meer detailinzichten in het gebied te kunnen beantwoorden.

In het algemeen is het zo dat als je beplanting verwijderd, de opname van nutriënten afneemt en dat deze dan uitspoelen naar het grondwater. Dat zal hier ook het geval zijn. Daarnaast neemt de eerste jaren de mineralisatie van organische stoffen in de bodem toe. Meer uitspoeling is het gevolg. Hoeveel uitspoeling er op zal treden en voor hoe lang is echter niet zo gemakkelijk te beantwoorden. Er spelen 2 dingen een rol: depositie (stikstof) wordt niet opgenomen en spoelt direct uit. Organisch materiaal in de bodem breekt langzaam af en zorgt dan voor extra uitspoeling.

Als een bos wordt gekapt en de bosrand verschuift, dan verschuift de depositie mee. De exacte effecten op de totale depositie hangen onder meer af van de windrichting, de aanwezigheid van (intensieve) veehouderij en andere depositiebronnen. Of er meer of minder depositie zal optreden in het onderhavige gebied is dus niet zomaar te zeggen.

Boomstronken verwijderen heeft weinig zin. Wellicht om esthetische redenen, want mooi zijn dikke, kale stammen natuurlijk niet. Als de bomen weer uit gaan lopen, nemen ze stikstof op, maar dat kan nieuwe begroeiing ook. Het is voor de stikstofuitspoeling zelfs beter om een laagblijvende, snelgroeende vegetatie neer te zetten. Doe je niks, dan spoelt de stikstof uit.

De mate van verbetering of verslechtering van de grondwaterkwaliteit is niet te beantwoorden zonder een diepgaande studie. Op basis van de huidige voorliggende gegevens is het allemaal veel te speculatief. Een bredere omgeving moet in die studie worden meegenomen. Hoeveel en wat voor landbouw is er in de omgeving? Hoe stroomt het grondwater? Hoe zit het met grootschalige grondwateronttrekkingen in de ruime omgeving? Waar komt het grondwater vandaan?

De enige maatregel die helpt om de uitspoeling te voorkomen is, zoals eerder aangegeven, het beplanten met een snelgroeiende, laagblijvende vegetatie. Ga vooral niet teveel de organische bodemlaag verstoren, want als deze laag veel in contact komt met zuurstof, vindt er extra mineralisatie en dus uitspoeling plaats.

De heer dr. K.J. (Klaasjan) Raat (KIWA WR)

Klaasjan Raat is bodemchemicus, gepromoveerd bij de heer Tietema.

De uitspoeling van stikstof zal in een kapgebied zeker toenemen twee tot drie jaar na de kap. Dit komt doordat de organische laag wordt afgebroken. Ook de uitspoeling van calcium en kalium zal wat toenemen. Of aluminium meer uitspoelt is de vraag, omdat dit alleen gebeurt onder zeer zure omstandigheden. Door de afname van de depositie in het gekapte bos, neemt de uitspoeling en de verzuring na een aantal jaren af.

In de bosrand naast het kapgebied zal de depositie toenemen. Hierdoor neemt de nitrificatie toe wat verzuring tot gevolg heeft. Hierbij spoelt meer calcium en kalium uit. Wat betreft aluminium, zie hierboven. Hoe groot dit effect is hangt sterk af van de aanwezigheid van (intensieve) veehouderij in de nabije omgeving. Hoe meer intensieve veehouderij, hoe meer depositie.

Het netto resultaat na een aantal jaren is moeilijk in te schatten op basis van de beschikbare informatie. Waarschijnlijk zal het netto effect neutraal zijn of licht positief (minder uitspoeling van stoffen en verzuring).

De boomstronken hoeven niet verwijderd te worden. Verwijdering heeft een verwaarloosbaar effect, omdat de stronken slechts langzaam afbreken. Het weghalen van de organische bodemlaag heeft een veel groter effect en is ook positief voor de vegetatie die zich na de kap zal ontwikkelen.

Het precieze effect op de grondwaterkwaliteit is moeilijk in te schatten. Waarschijnlijk stelt het niet veel voor. Er komt wel meer stikstof in de bodem het eerste paar jaar na de kap (de concentratie kan toenemen tot zo'n 50 mg N/l), maar gezien de grootte van het kapgebied zal dat in de grondwaterkwaliteit niet of nauwelijks terug te zien.

Hoe groot het effect op de drinkwatervoorziening is, hangt af van de grootte van het intrekgebied en de grootte van de kapvlakte. Als we aannemen dat het intrekgebied overeenkomt met het grondwaterbeschermingsgebied, dan is de kapvlakte te klein om een significant effect te verwachten.

De enige maatregel die helpt om effecten op het grondwater te voorkomen is het verwijderen van de strooisellaag direct na de kap.

Omdat de bodem bestaat uit zand en grind, zal deze niet veel calcium en kalium bevatten. De uitspoeling zal daardoor niet zo groot zijn en er zullen daardoor geen problemen optreden met de hardheid van het grondwater. Aluminium spoelt alleen onder zeer zure omstandigheden uit, die zijn niet te verwachten onder de heersende omstandigheden.

Kenmerk R001-4565839WHD-pda-V02-NL

4 Effecten per deelgebied op de grondwaterkwaliteit

4.1 Effecten 6 ha reeds uitgevoerde kaalkap

Het kappen (in casu het afzagen) van de bomen tot stronken van 10 cm tot 1 meter heeft vergelijkbare effecten als volledige kaalkap. Kaalkap geeft een verhoging van mineralisatie, nitrificatie en denitrificatie gedurende de eerste jaren na de kap. Dit heeft een verhoogde (tot een factor 20) uitspoeling van nitraat naar het grondwater tot gevolg. De met nitrificatie gepaard gaande verzuring wordt in de kalkrijke bodem geneutraliseerd, waarbij calcium uitspoelt. Op langere termijn neemt de uitspoeling af omdat de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem, de nitrificatie en de depositie afnemen. Lopen de bomen na de kap weer uit, dan wordt een deel van het vrijkomende nitraat echter weer opgenomen en bereikt niet het grondwater. Er is de eerste jaren na de kap wel een verhoogde calciumuitspoeling en verzuring. Vanaf het moment van de kap is de depositie minder dan voor de kap. Gezien de grootte van het kapgebied ten opzichte van de grootte van het totale bosgebied is een merkbaar effect op de grondwaterkwaliteit niet te verwachten.

4.2 Effecten 1 ha voorgenomen kaalkap

Het afzagen van (ongeveer 70 % van) de bomen in het deelgebied van 1 ha heeft vergelijkbare effecten als omschreven in paragraaf 4.1. Gezien de grootte van het kapgebied ten opzichte van de grootte van het totale bosgebied is een merkbaar effect op de grondwaterkwaliteit niet te verwachten.

4.3 Effecten 13 ha voorgenomen beheer

Het in de toekomst verwijderen van bomen die te hoog doorgroeien (middenbosbeheer) heeft geen merkbare effecten op de grondwaterkwaliteit. De hoeveelheid organische stoffen op de bodem na de dunning neemt wat toe, en daardoor de mineralisatie en (de)nitrificatie, maar de uitlopende bomen nemen het vrijkomende nitraat snel op. Er is wel een licht verhoogde verzuring van de bodem, waardoor meer calcium uit zal spoelen. De grootte van de effecten is moeilijk te voorspellen. Dat hangt sterk af van het exacte beheer (hoe vaak dunnen, hoe veel dunnen, groeisnelheid van de bomen). Ook het effect op de depositie op langere termijn is onzeker. Gezien de verwachte geringe effecten en de grootte van het gebied ten opzichte van het totale bosgebied is er geen merkbaar effect op de grondwaterkwaliteit te verwachten.

4.4 Effecten totaal

In totaal gaat het om 20 ha bosgebied op een bosgebied van 360 ha, dus ca. 5,5 % van het totaal. In 7 ha (1,9 %) hiervan is een verhoogde mineralisatie, nitrificatie en verzuring te verwachten in het eerste paar jaar na de kap. Door het uitlopen van de stronken (hakhoutbeheer) verminderen de jaren daarna verminderen deze processen. Samen met de verminderde depositie van stoffen na de kap en daarmee de uitspoeling van nitraat en calcium naar het grondwater neemt de belasting van het grondwater af tot onder het niveau van het oorspronkelijke bosgebied. Gezien de grootte van het gebied echter, zal het effect op de grondwaterkwaliteit niet significant positief zijn, maar een en ander hangt af van de grondwaterstroming ter plekke.

Evenzo zal de eerste jaren na de kap het effect niet significant negatief zijn. Hetzelfde geldt voor het grondwaterbeschermingsgebied.

Een en ander hangt wel samen met het beheer van het totale gebied. Hoe vaker het gebied verstoord wordt, des te meer organisch materiaal er op de bodem zal komen. Dit resulteert in een hogere mineralisatie, nitrificatie, uitspoeling van nitraat en verzuring.

Het effect van het in de toekomst beheren van het 13 ha deelgebied hangt sterk af van het exacte beheer (middenbosbeheer). Gezien de verwachte omvang van het beheer en gelet op de grootte van het gebied ten opzichte van het totale bosgebied is er geen merkbaar effect op de grondwaterkwaliteit te verwachten.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Inleiding

In onderstaande paragrafen zijn de conclusies en aanbevelingen weergegeven. De conclusies hebben betrekking op de effecten van kaalkap op de grondwaterbescherming (grondwaterkwaliteit en grondwaterkwantiteit) en zijn ontleend aan de literatuurstudie en de interviews. Voor het vaststellen van de exacte processen die optreden in het Schinveldse bos is inzicht in de lokale situatie benodigd. Dit kan worden bereikt door het verrichten van lokaal onderzoek dan wel een bodemkundige modellering.

5.2 Effecten op de waterkwantiteit

Zoals in paragraaf 2.3.1 wordt beschreven wordt door de kap van bomen de opname van water uit de bodem verminderd en zal meer neerslag de bodem bereiken. Dit heeft tot gevolg dat de hoeveelheid regenwater dat het grondwater bereikt groter zal zijn en dat de grondwaterstand zal stijgen.

5.3 Effecten op de grondwaterkwaliteit

Korte termijn (tot vijf jaar):

- Een natuurlijk proces is de verhoging van de mineralisatie van de organische stoffen in en op de bodem, toename van de (de)nitrificatie en daardoor verzuring van de bodem. Refererend aan onder andere het interview met de heer dr. A. Tietema wordt verwacht dat de bodem van het Schinveldse bos kalkrijk zal zijn waardoor buffering zal plaatsvinden en de verzuring nagenoeg geen effect zal hebben op de zuurgraad (pH) van de bodem
- Uit literatuur blijkt dat stikstof (nitraat) in sterk verhoogde concentraties uitspoelt naar het grondwater. Dit kan oplopen met een factor 3 tot 20. Door de verzuring, veroorzaakt door nitrificatie, loogt calcium uit, waarbij de verzuring wordt geneutraliseerd. Waarschijnlijk wordt door de bufferende capaciteit van de bodem het water niet zo zuur dat kalium, metalen zoals aluminium en organische microverontreinigingen in verhoogde concentraties uitspoelen
- Doordat meer neerslag het grondwater bereikt (zie paragraaf 5.2), stroomt er meer water door de onverzadigde zone. Tevens vindt naar verwachting verhoogde mineralisatie plaats. Hierdoor is er meer uitspoeling van nitraat uit het ecosysteem, waardoor uiteindelijk meer nitraat het grondwater bereikt. Daar staat tegenover dat de verhoogde aanvoer van water een verdunnend effect heeft op de concentraties verontreinigende stoffen
- Bij herbeplanting of het laten uitlopen van de achterblijvende boomstronken is de verwachte uitspoeling van nitraat naar verwachting beperkt, omdat jonge of uitlopende bomen meer nitraat opnemen. Als deze bomen later weer afgezaagd worden, neemt de uitspoeling weer toe

Lange termijn (na vijf jaar)

- Uit literatuur blijkt dat nitrificatie, en indien van toepassing verzuring van de bodem, na verloop van tijd zal afnemen (minder depositie en minder bladval) wat leidt tot minder uitspoeling van nitraat en calcium naar het grondwater
- De totale uitspoeling in het Schinveldse bos neemt naar verwachting licht af ten opzichte van een oorspronkelijke, beboste situatie. Dit vanwege de verwachte afname van depositie en omdat de totale lengte bosrand nagenoeg gelijk blijft terwijl het totale oppervlak bos afneemt
- Bij toenemende biodiversiteit neemt de uitspoeling van opgelost organisch koolstof en daarmee gecompliceerde stoffen (metalen) af

Korte en lange termijn:

- Minder depositie van (schadelijke) stoffen
- Meer regenwater infiltreert naar de verzadigde zone

5.4 Effecten op het grondwaterbeschermingsgebied

Slechts een klein deel van het kapgebied ligt in het grondwaterbeschermingsgebied (zie figuren 2.1 en 2.2). Verwacht wordt dat bij een tijdelijke vertwintigvoudiging van de uitloging van stoffen (worst-case) het niet te verwachten is dat dit een significant effect heeft op de concentraties van stoffen in het grondwater binnen het grondwaterbeschermingsgebied. De grondwaterstroming en de herkomst van het grondwater in het grondwaterbeschermingsgebied zijn belangrijk om de effecten te kunnen inschatten. Deze gegevens zijn op dit moment niet bekend.

5.5 Aanbevelingen

Om de lokale situatie van het Schinveldse bos inzichtelijk te maken kan er voor worden gekozen om te monitoren met behulp van peilbuizen, te plaatsen in het ongekapte bos en in de diverse gekapte of kort gehouden delen. Een vergelijking tussen de concentraties op de verschillende locaties kan inzicht geven in het verloop van de hoeveelheid uitspoeling. Wanneer de uitspoeling significant blijkt te zijn kan met behulp van een bodemkundig rekenmodel de verspreiding worden bepaald. Hiervoor dient de grondwaterstroming ter plekke in kaart te worden gebracht om te bekijken waar een eventuele verandering in belasting van grondwater effect kan hebben.

Hoewel de tijdelijke verhoging van uitspoeling van stoffen naar het grondwater te verminderen is door het verwijderen van de strooisellaag direct na de kap, wordt dit niet aanbevolen. De inschatting is dat de totale extra belasting van het grondwater zo klein zal zijn, dat het een dergelijke ingrijpende maatregel in het ecosysteem niet rechtvaardigt. Door het weghalen van de strooisellaag treedt een grote verstoring van de bodem en het ecosysteem op doordat zaden, dieren (voornamelijk insecten) en planten worden verwijderd. Ook verhoogt dit de tijdelijke mineralisatie en daarmee de uitspoeling.

Het laten staan van de boomstronken heeft geen merkbaar negatief effect op de grondwaterkwaliteit. Gaan de bomen weer uitlopen, dan nemen zij nitraat op uit de bodem, waardoor zij een positief effect op de grondwaterkwaliteit hebben. Beter is het echter om ze wel te verwijderen en te vervangen door een snelgroeiende, laagblijvende beplanting. Hoe groter de biodiversiteit (aantal plantensoorten) hierin tot ontwikkeling komen, des te lager de uitspoeling van opgelost organisch koolstof en de daaraan gebonden metalen.

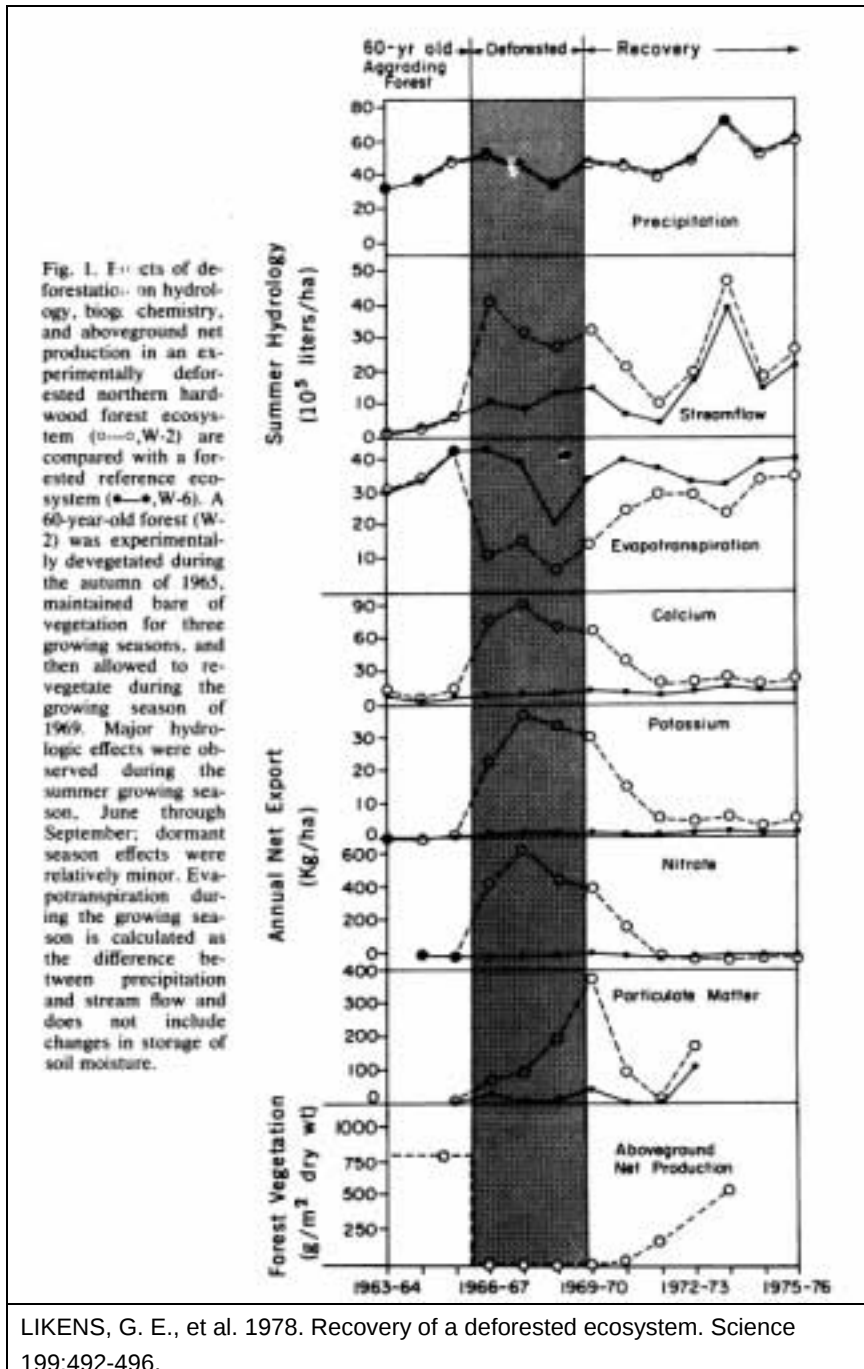
Het beheer van het bosgebied kan het best zo extensief mogelijk plaatsvinden. Bij veelvuldig ingrijpen neemt de organische belasting van de bodem en daarmee de mineralisatie, nitrificatie, de eventuele verzuring en uitspoeling van nitraat en calcium steeds weer toe ten opzichte van de ongestoorde situatie.

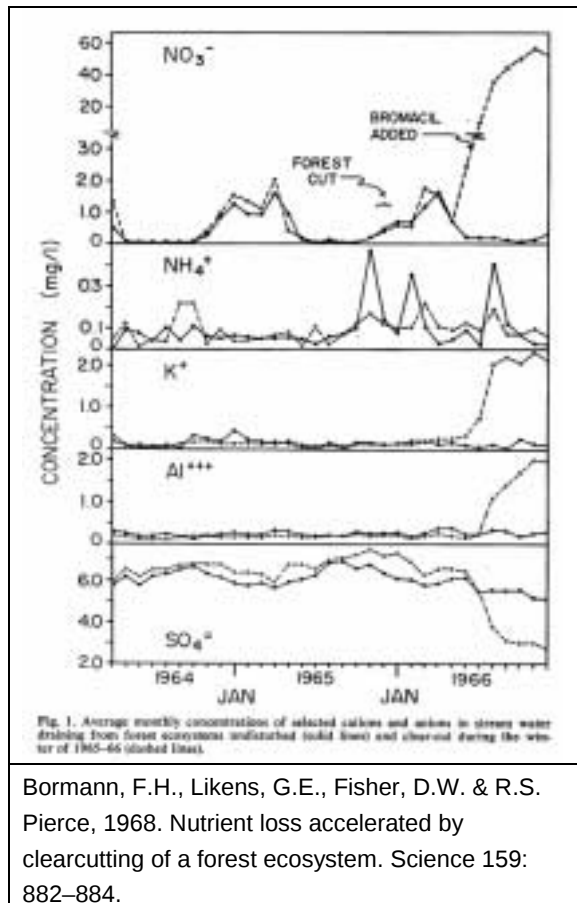
6 Referenties

- I. Allen, A.; Chapman, D. 2001. Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal*, Vol. 9, p. 390-400
- II. Bade, T., O. van der Schroeff, 'Geld als water, over Europese richtlijnen, water en regionale economie', 2006
- III. Bartsch, N., R. T. Brooks, et al. 2000. In: 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.)
- IV. 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
- V. Bormann, F.H., Likens, G.E., Fisher, D.W. & R.S. Pierce, 1968. Nutrient loss accelerated by clearcutting of a forest ecosystem. *Science* 159: 882–884
- VI. Brechtel HM (1992) Impact of acid deposition caused by air pollution in central Europe. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR (eds) *Responses of forest ecosystems to environmental changes*. Elsevier, New York, pp 594–595
- VII. Burgh, van der, G.F. en A. Lekatompessy-van der molen, *Bomen beschermen water, wageningen, nieuwland advies*, mei 1997
- VIII. Dahlgren, R.A. and C.T. Driscoll. 1994. The effects of whole-tree clear-cutting on soil processes at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, USA. *Plant Soil* 158:239–262
- IX. Dirnböck, T., M. Mirtl, S. Dullinger, M. Grabner, P. Hochrathner, K. Hülber, G. Karrer, I. Kleinbauer, W. Mayer, J. Peterseil, V. Pfefferkorn-Dellali, F. Reimoser, S. Reimoser, R. Türk, W. Willner, H. Zechmeister, effects of nitrogen and sulphur deposition on forest and forest biodiversity Umweltbundesamt GmbH, Vienna, 2007
- X. Granhall U (1992) Clear-cutting of a Scots pine forest – effects on soil biology. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR (eds) *Responses of forest ecosystems to environmental changes*. Elsevier, New York, pp 797–799; Khanna et al. 1992 Khanna PK, Meiwes KJ, Bauhus J (1992) Nitrogen dynamics in some beech forests as measure of resilience to changes due to management practices and anthropogenic impacts. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR (eds) *Responses of forest ecosystems to environmental changes*. Elsevier, New York, pp 664–665
- XI. Gundersen P, Rasmussen L (1990) Nitrification in forest soils: effects from nitrogen deposition on soil acidification and aluminium release. *Rev Environ Contam Toxicol* 113:1–45)
- XII. Hall RL, Allen SJ, Rosier PTW, Smith DM, Hodnett MG, Roberts JM, Hopkins R, Davies HN, Kinniburgh DG, Goody DC (1996) Hydrological effects of short rotation energy coppice. ETSU B/W5/00275/Rep:204 pp

- XIII. Harding RJ, Neal C, Whitehead PG (1992) Hydrological effects of plantation forestry in north-western Europe. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR (eds) Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier, New York, pp 445–455
- XIV. 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
- XV. Jansen, P.C., 'Belang van de stooisellaag voor de totale depositie in een dennenbos', 1989
- XVI. Jansen, A.J.M., A.F.M. Olsthoorn, Nederlands bosbouw tijdschrift 2003, 'Relatie bos en Waterwinning I', 2003
- XVII. Johnson DW (1992) Nitrogen retention in forest soils. J Environ Qual 21:1–12
- XVIII. Jones SM, Cummins T, Boyle GM, Aherne J, Farrell EP (1998) A pilot study into the effects of clearfelling on nutrient losses and sustainability. Monstac Project Final Report, Forest Ecosystem Research Group Rep 23, University College, Dublin, 62 pp
- XIX. Moss PD, Edmunds WM (1992) Processes controlling acid attenuation in the unsaturated zone of a Triassic sandstone aquifer (UK), in the absence of carbonate. Appl Geochem 7:573–583
- XX. Pennock D.J. and van Kessel C. 1997. Clear-cut forest harvest impacts on soil quality indicators in the mixedwood forest of Saskatchewan, Canada. Geoderma 75: 13-32)
- XXI. Rothe, A. & Mellert, K.H. (2004) Effects of forest management on nitrate concentrations in seepage water of forests in southern Bavaria, Germany. *Water Air and Soil Pollution*, 156, 337-355
- XXII. Steinbeiss, S., H. Beßler & G. Gleixner, 2005. Does plant biodiversity influence the formation of dissolved organic carbon? Geophysical Research Abstracts, vol. 7, 07923, 2005
- XXIII. Stevens PA, Hornung M (1988) Nitrate leaching from a felled Sitka spruce plantation in Beddgelert Forest, North Wales. Soil Use Manage 4:3–9
- XXIV. Tietema, A., 'Nitraatuitspoeling in een intrekgebied bestudeerd met een dynamisch GIS', 1999
- XXV. Tolkamp, G.W. en A.F.M. Olsthoorn, '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.) 2006
- XXVI. Vries, de, 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 Insitute FIMCI, ECUN/ ECE, Brussels, Geneva, 177p
- XXVII. Virzo De Santo A (1992) Denitrification in forest soils. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR (eds) Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier, New York, pp 208–222

XXVIII. Vries de W., J.J.M. van Grinsven, N. van Breemen, E.E.J.M. Leeters and P.C. Jansen, 1995. Impacts of acid deposition on concentrations and fluxes of solutes in acid sandy forest soils in the Netherlands. *Geoderma* 67 (1-2), 17-43

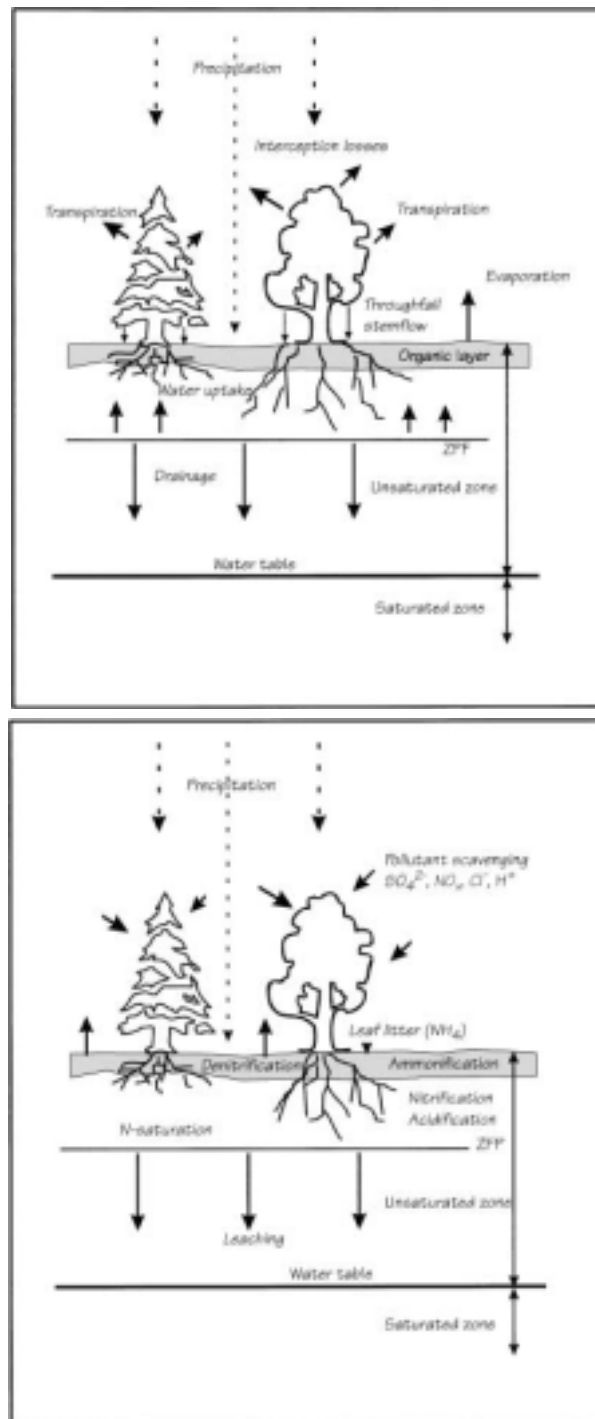




Bijlage

1

Tekeningen



Figuur A Processen in lucht, bodem en water

