

Houtoogst in relatie tot nutriëntenvoorraden

in bossen op droge zandgronden





Ministerie van Economische Zaken

2017
Een uitgave van de Vereniging van Bos- en
Natuurterreineigenaren (VBNE)
Princenhof Park 9
3972 NG Driebergen

internet: www.vbne.nl
e-mail: info@vbne.nl

De VBNE heeft als doel het professioneel beheer van haar leden te ondersteunen. LandschappenNL, de Federatie Particulier Grondbezit, het Rijksvastgoedbedrijf, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en Natuurnetwerk Gemeenten zijn lid van de VBNE.

De tekst van deze publicatie is in opdracht van de VBNE en het ministerie van Economische Zaken Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Natuur en Regio' (projectnummer BO-11-021-005) opgesteld door Anjo de Jong, Hans Kros, Joop Spijker en Wim de Vries van Wageningen Environmental Research. Onder begeleiding van Staatsbosbeheer, AVIH, Borgman Beheer Advies, Landgoed Twickel, LandschappenNL, Kroondomein Het Loo, Unie van Bosgroepen, Rijksvastgoedbedrijf, Natuurmonumenten en Wageningen University.

Foto's

Wageningen Environmental Research

Vormgeving

Mariëtte Boomgaard,
Ocelot Ontwerp

Druk

Flyeralarm B.V.

Alhoewel deze publicatie met grote zorg is samengesteld, sluiten samenstellers en uitgever iedere aansprakelijkheid voor eventuele fouten in deze brochure uit.

Houtoogst in relatie tot nutriëntenvoorraden

in bossen op droge zandgronden

Inhoud

Inleiding	4
1 Achtergrond, inhoud en opzet	6
2 Achtergrond bij nutriëntenbalans	10
Nutriënten in het bos	10
Nutriënten in deze brochure	16
3 Uitwerking voor de praktijk	18
Noord-Nederland	22
Oost-Nederland	23
Midden-Nederland	24
Zuid-Nederland	25
Hoe nu verder?	26
Voorbeeldsituaties	27
Bijlage 1: Kaart met indeling van de regio's	30



Inleiding

Deze brochure is er op gericht beheerders en boscigenaren een hulpmiddel te geven voor een van de aspecten van duurzaam bosbeheer, namelijk op het verkrijgen van inzicht in de mogelijke effecten van oogst van stam- en top hout op de voedingstoffenbalans van de bodem. Andere duurzaamheidsaspecten van het bos, zoals biodiversiteit, duurzame oogst

en bosontwikkeling, recreatieve beleving, de bijdrage van bosgebieden aan wateropvang en luchtkwaliteit worden niet meegenomen. Ook voor de landelijke en provinciale overheid bevat deze brochure belangrijke informatie voor het natuurbeleid en het beleid gericht op de bevordering van de circulaire economie.

Bij de totstandkoming van dit onderzoek en de presentatie van de resultaten hebben een groot aantal betrokkenen vanuit de bos- en natuursector en het ministerie van Economische Zaken geadviseerd. Het onderbouwend onderzoek voor deze brochure en het bijbehorende achtergrondrapport is gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en de Vereniging van Bos- en Natuureigenaren (VBNE).

Voor deze brochure is gebruik gemaakt van in de literatuur en databases beschikbare gegevens en zijn in 2016 aanvullende bemonsteringen uitgevoerd bij zeven boomsoorten in de bossen op zandgronden in Midden- en Oost Nederland. In een later te verschijnen Alterra-rapport worden deze achtergronden uitgebreid beschreven.



1 Achtergrond, inhoud en opzet

Achtergrond

Er is de afgelopen jaren een markt ontstaan van laagwaardig hout voor toepassing als brandstof en binnenkort mogelijk voor biorafinage. Het is de verwachting dat de omvang van deze markt zal toenemen en diverse bosbeheerders spelen hier op in door tak- en top hout (als biomassa-bron) te oogsten en te verkopen. Over het gebruik van deze biomassa bestaat veel discussie. Eén van de discussiepunten is de onttrekking van belangrijke plantvoedingsstoffen ofwel nutriënten uit bossen die in Nederland vaak op arme bodems staan. Hoewel er in Nederlandse bossen een overmaat aan stikstof (N) is, zijn andere belangrijke macronutriënten, zoals calcium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg) en fosfor (P) maar beperkt beschikbaar. Door verhoging van het oogstniveau en door ook tak- en top hout te oogsten wordt de afvoer van deze nutriënten wezenlijk verhoogd. Dit kan leiden tot afname van beschikbare voedingsstoffen in bossen op vooral de arme(re) bodems. Deze nutriënten zijn van belang voor het functioneren van het bos als ecosysteem (behoud van biodiversiteit) en voor de productiviteit (van hout) van het bos. Daarbij gaat het in deze brochure vooral om het effect van oogst op de nutriëntenbalans. Er wordt daarbij gekeken naar het effect van het oogsten van alleen stamhout en het oogsten van zowel stamhout als tak- en top hout.

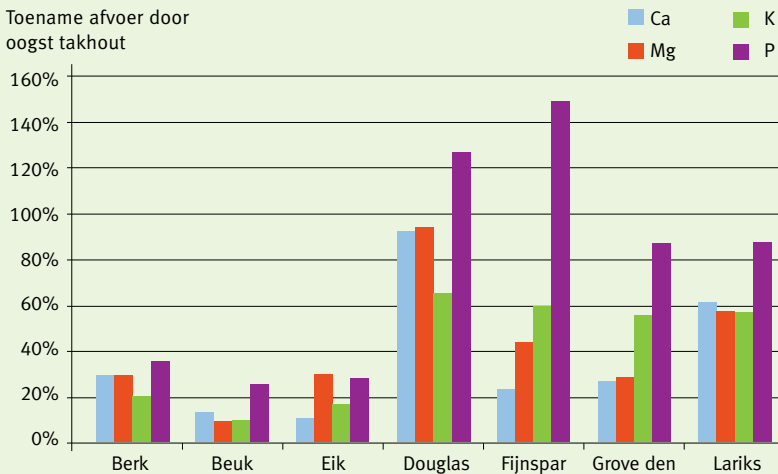
Voor nutriënten is de bijdrage van takhout een factor van belang, zoals aangegeven in Figuur 1. Dood hout levert de nutriënten (met name Ca, P) die in de loop der jaren in het hout zijn opgeslagen geleidelijk terug aan de bodem en vormt lokaal een relevante bron.

Doel

Het hoofddoel van de brochure is om de bosbeheerder bewust te maken van de effecten van de oogst van hout en biomassa op de voorraad beschikbare nutriënten in vooral, droge zandgronden. Die effecten zijn in deze brochure weergegeven op een modelberekening van nutriëntenbalansen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen het oogsten van uitsluitend stamhout of ook top- en takhout bij de eindkap. Over de oogst van tak- en top hout bij dunningen worden geen uitspraken gedaan omdat dat vanwege economische en praktische redenen nauwelijks aan de orde is. Ook wordt informatie gegeven over maatregelen om de nutriëntenbalans van het bos positief te houden. Dat is van belang voor een duurzame houtoogst én ook voor het realiseren van andere duurzaamheidsaspecten, zoals biodiversiteit en CO₂-opslag. De brochure is er op gericht beheerders en boseigenaren daarvoor een hulpmiddel te geven.



Toename afvoer door oogst takhout



FIGUUR 1. Extra afvoer van nutriënten over een omloop door oogst van takhout bij eindkap ten opzichte van alleen stamhout. Bij sommige soorten, vooral de naaldhoutsoorten, zitten naar verhouding veel nutriënten in het takhout (met naalden), en daarom zorgt de afvoer van het takhout voor wezenlijk meer afvoer van nutriënten.

Opzet, beperkingen en toepassing

De brochure geeft aan bij welke oogstniveaus een positieve ofwel negatieve nutriëntenbalans bereikt kan worden. Er is alleen gekeken naar de macronutriënten Ca, K, Mg en P. Stikstof (N) en zwavel (S) zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de aanvoer ervan door atmosferische depositie voor de meeste Nederlandse bossen vooral wat N betreft zeer hoog is en er de komende decennia geen N- en S-tekorten worden verwacht. De micronutriënten worden eveneens buiten beschouwing gelaten. Van micronutriënten, zoals mangaan, koper en zink is maar weinig bekend over de

beschikbaarheid. Daarnaast zijn de gehalten van de micronutriënten in het hout en dus de afvoer door oogst erg laag.

Het risico op een verstorend effect van het afvoeren van nutriënten via houtoogst op de bodemvruchtbaarheid speelt vooral op **droge zandgronden**. Deze zijn van nature en door het historische gebruik vaak al relatief arm. Daarnaast komen er bij zandgronden minder voedingsstoffen vrij uit vertering dan op leem- en kleigronden. De brochure is daarom vooral gericht op de zandgronden, die verder zijn onderverdeeld in arme-, matig rijke – en



rijke zandgronden zoals die voorkomen in Noord-, Oost-, Midden- en Zuid-Nederland. In Bijlage 1 is een kaartje opgenomen met de grenzen van deze regio's. De nutriëntenbalansen zijn ook doorgerekend voor bossen op zandgronden in het duingebied en op löss-, klei- en veengronden, maar hiervan worden in deze brochure geen resultaten gepresenteerd, omdat die bodems minder gevoelig zijn voor afname van nutriënten.

Deze brochure is gericht op grondwatertrappen IV en droger. Bij de nattere grondwatertrappen kan sprake zijn van aanvoer van nutriënten door kwel. Met aanvoer van nutriënten in kwelstromen is in de berekeningen geen rekening gehouden.

Om het effect van oogst op de nutriëntenbalans te bepalen, is gebruik gemaakt van modelberekeningen voor de aan- en afvoer van nutriënten voor diverse boomsoorten, bodemtypen en regio's met een eenvoudig balansmodel. Voor het maken van die berekeningen is literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn metingen verricht aan de aanwezigheid van nutriënten in de bodem en in het stam- en takhout. Bij de berekeningen zijn een aantal aannamen gedaan, waarbij gekozen is voor een voorzichtige benadering. In veel situaties zal de balans iets positiever kunnen zijn dan gepresenteerd. Het onderzoek wordt nog vervolgd om de onzekerheden in de berekeningen te verkleinen.

Zoals eerder aangegeven, is de brochure bedoeld om het effect van oogst op de bodemvruchtbaarheid mee te laten wegen bij het kiezen van het oogstniveau. De brochure richt zich op de vraag hoe de afvoer van P,

Ca, Mg en K (via houtoogst en uitspoeling) zich verhoudt tot de toevoer (via depositie en verwerking).

Daarbij dient wel te worden bedacht dat bij de beoordeling dus niet wordt gekeken naar de mogelijke rol van nutriëntenaccumulatie in strooisel door strooiselophoping of juist het omgekeerde door strooiselafbraak. Zo zijn loofboomsoorten vaak beter voor het tegengaan van strooiselophoping en bijkomende verzuring (zie ook de OBN-brochure "Arme bossen verdienen beter"). Verder wordt elke nutriënt nu apart behandeld en wordt niet naar interacties gekeken. Zo kan een hoge stikstoftoevoer tot een lager beschikbaarheid van fosfor leiden en tot een onbalans met Ca, Mg en K. Dit aspect, dat kan doorwerken in het voedselweb tot de hogere fauna, is niet meegenomen. Daarnaast wordt de bodemvruchtbaarheid ook beïnvloed door het gehalte aan organische stof en dit blijft in deze brochure buiten beschouwing.

Oogst van hout is een maatregel die sturing geeft aan de ontwikkeling van het bos. De wijze waarop deze oogst plaats vindt (dunning, kaalkap, schermkap, wel of geen takhout oogsten) kent naast allerlei ecologische en teeltkundige, ook bedrijfsmatige aspecten. De manier van kap heeft natuurlijk financiële aspecten en bepaalt mede de mogelijkheden voor verjongingsmaatregelen en de boomsoorten die zich kunnen verjongen. Het aspect van bodemvruchtbaarheid en nutriëntenbeschikbaarheid dat in deze brochure centraal staat dient mee gewogen te worden in het totaalplaatje van de bedrijfsvoering rondom het bosbeheer.

2 Achtergrond bij nutriëntenbalans

Nutriënten in het bos

In grote lijnen kunnen drie voorraden nutriënten in het bos worden onderscheiden:

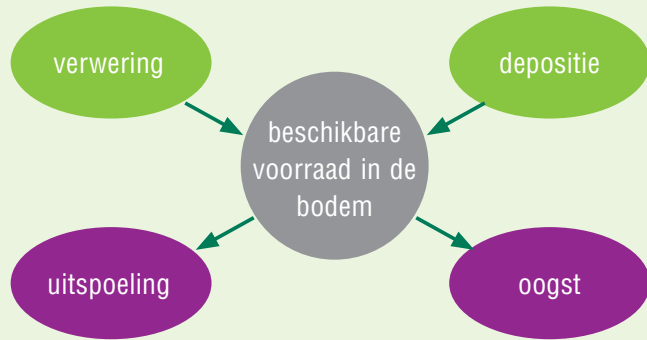
- Nutriënten in de biomassa, vooral in de stammen, takken en bladeren of naalden van bomen. Deze voorraad komt deels op korte of langere termijn (via bladval, afbreken van takken, etc.) beschikbaar, of wordt afgevoerd (oogst).
- Direct beschikbare voorraad nutriënten in de bodem. Dit zijn de nutriënten die door de bomen en andere vegetatie op korte termijn opgenomen kunnen worden. Deze nutriënten zijn opgelost in het bodemvocht of zijn aan klei- of humusdeeltjes geadsorbeerd.
- Niet-direct beschikbare nutriënten in het moedermateriaal (zand, klei). Deze nutriënten komen pas op lange termijn door verwerking vrij. Daarmee wordt de beschikbare voorraad aangevuld.

Deze brochure richt zich op de voor het systeem meest relevante voorraad: die van de direct beschikbare voorraad nutriënten in de bodem. Deze voorraad dient op peil te blijven voor het ecosysteem om goed te kunnen blijven functioneren. Deze voorraad is dus de bron voor de vegetatie en wordt aangevuld uit onder andere het moedermateriaal.

De effecten van oogst op nutriëntenbalansen zijn gebaseerd op modelberekeningen van de

balans van toevoer en afvoer van nutriënten in bossystemen. De balans wordt bepaald door de aanvoer van nutriënten middels atmosferische depositie en verwerking en de afvoer middels houtoogst en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Het oogsteffect wordt bepaald door een verschil tussen de aanvoer van nutriënten middels atmosferische depositie en verwerking en de afvoer middels uitspoeling. In Figuur 2 is de balans van toevoer en afvoer schematisch weergegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt in (i) groeiplaatstypen die enerzijds een effect hebben op de groei en dus op de afvoer van nutriënten en anderzijds door verschillen in bodemchemische eigenschappen die leiden tot verschillen in elementvoorraden en verwerking en (ii) in geografische regio's voor de ruimtelijke variatie in toevoer van nutriënten door atmosferische depositie.

Door depositie uit lucht en neerslag, en door verwerking van bodemdeeltjes komen nutriënten in de bodem beschikbaar voor de groei van bomen. Door uitspoeling verdwijnen er nutriënten. Er verdwijnen ook nutriënten uit het systeem doordat er geoogst wordt (stamhout en/of tak- en tophout). Berekend is hoe groot de depositie, verwerking en uitspoeling zijn, en hoeveel nutriënten er met oogst afgevoerd kunnen worden, zonder dat de balans negatief wordt.



FIGUUR 2. Nutriëntenbalans van een bos



Depositie, verschillen per regio

In heel Nederland, net als in de rest van de wereld, is er toevoer van nutriënten door atmosferische depositie. Alom bekend is de depositie van N (in de vorm van ammoniak en stikstofoxiden), die veel problemen in natuurgebieden veroorzaakt en ervoor zorgt dat nu en in de komende decennia in Nederland geen tekorten worden verwacht van N in bossen. Maar er is ook sprake van een depositie van Ca, K,

Mg en P. Het gaat om veel kleinere hoeveelheden dan de depositie van N, maar toch zijn de hoeveelheden groot genoeg om rekening mee te houden in de balansberekeningen.

De depositie is afhankelijk van de plek in het land. De depositie van basische kationen Ca, K, Mg, komt vooral vanaf zee en is daarom in de kustregio's hoger dan elders. Fosfordepositie is in het zuiden hoger dan in het noorden.



Verwerking, verschillen per bodem

Doordat de mineralen in de bodem langzaam verwerken, komen Ca, K en Mg langzaam vrij. De snelheid van die verwerking is voor verschillende bodemtypen vastgesteld. Deze hangt af van de grootte en de mineralogische samenstelling van de bodemdeeltjes. In Tabel 1 zijn de codes voor zand- en leemgronden van de 1:50 000 bodemkaart weergegeven. Hierbij geven de laatste twee cijfers de textuur aan:

- 30 = grofzandig leemarm tot sterk lemig,
- 21 = fijnzandig leemarm en zwak lemig ,
- 23 = fijnzandig lemig. De bodems met L als hoofdletter zijn leemgronden. Een c voor de code duidt op een minerale eerdlaag van 30-50 cm, een E staat voor een dikke eerdlaag (>50 cm). In het kort komt de indeling op het volgende neer:
 - Mineralogisch Arm bodemmateriaal: overwegend leemarme of grofzandige bodems waarin de bodemvorming wijst op uitloging van het moedermateriaal;
 - Mineralogisch Matig arm bodemmateriaal: leemarme of grofzandige bodems waarin de bodemvorming wijst op weinig of geen uitloging of waarin een zwarte eerdlaag ontwikkeld is en sommige lemige gronden met een lagere mineralogische rijkdom;
 - Mineralogisch Rijk bodemmateriaal: leem of lemige zandgronden, of overige zandgronden met een bruine minerale eerdlaag en verdroogde bodems waarvan door kwel de mineralenrijkdom in het verleden is vergroot;
 - Combinatie van de vorige twee: Grofzandige bodems waarvan het leemgehalte niet bekend is.

Op de website <http://pdokviewer.pdok.nl/> is de bodemkaart voor heel Nederland weergege-

TABEL 1. De bodemtypes op de 1:50.000 bodemkaart en de drie onderscheiden gradaties voor mineralogische rijkdom. Voor een deel van de grofzandige bodems kan deze alleen vastgesteld worden als het leemgehalte bekend is.

MINERALOGISCHE RIJKDOM BODEMMATERIAAL			
Arm	Matig arm	Rijk	
Hd21	cHd21	bEZ21	Ldd6
Hd30	cHn21	bEZ23	Ldh5
Hn21	cY21	bEZ30	Ldh6
Hn30	cZd21	BLb6	Lh5
Zd21	Hd23	BLd5	Lh6
Zd30	Hn23	BLd6	Ln5
Zn21	pZn21	BLh5	Ln6
Zn30	pZn30	BLh6	Lnd5
	Y21	BLn5	Lnd6
	Zb21	BLn6	Lnh6
	Zb30	cHd23	pLn5
	Zd23	cHn23	pZg21
	zEZ21	cY23	pZg23
	Zn23	cZd23	pZg30
		EZg21	pZn23
		EZg23	Y23
		EZg30	Y23b
		Ld5	Zb23
	Matig arm of Rijk afhankelijk van leemgehalte		
	cHd30	cY30	Y30
	cHn30	cZd30	zEZ30

Meer informatie over bodemkaarten:
<http://landschapsleutel.wur.nl/documentatie/htm/Legendas%20Bodemkaarten.htm>

ven en kan voor iedere plek de bodemcode opgezocht worden. Op lokaal niveau kan de bodem echter afwijken van de classificatie op die website. Om echt een goede indruk te krijgen van de bodem op een specifieke plek moet een grondboring plaatsvinden. Dat is ook noodzakelijk om het leemgehalte van grofzandige bodems vast te stellen. Voor een groot deel van de boswachterijen is een gedetailleerde bodemkaart beschikbaar.

Uitspoeling, verschillen per bodem en regio

Nederland heeft jaarlijks te maken met een overschot aan neerslag. Dit overschot zakt in de meeste gevallen weg naar het grondwater en neemt daarbij nutriënten mee die opgelost zijn in het bodemvocht. De mate van uitspoeling is afhankelijk van de hoeveelheid nutriënten die vrijkomen door depositie en vertering. De uitspoeling wordt ook beïnvloed door zure depositie: zure depositie neemt Ca, K en Mg en in mindere mate P mee naar het grondwater. Met het afnemen van de zure depositie de laatste jaren is ook de uitspoeling afgenomen. De huidige uitspoeling is niet nauwkeurig bekend. Daarom is in deze brochure een voorzichtige aanname gedaan voor de uitspoeling (lees: relatief hoog ingeschatte uitspoeling: 50% van de aanvoer door depositie en vertering spoelt weer uit) die mede bepaald is op basis van de aanvoer via depositie en vertering en dus verschilt per bodem en per regio.

Oogst per boomsoort

Door het oogsten van hout en biomassa worden nutriënten uit het bos gehaald. De afvoer van nutriënten is de hoeveelheid oogst maal het gehalte aan nutriënten. Voor dit onderzoek zijn nutriëntgehalten van bomen in Nederland bepaald. Deze blijken te verschillen met de gehalten die in andere landen zijn gemeten. De gehalten N zijn hoger, en die van P, K, Ca en Mg zijn lager. Dit is te verklaren vanuit de hoge stikstofdepositie in ons land, en de verzuring die de andere nutriënten uitspoelt.

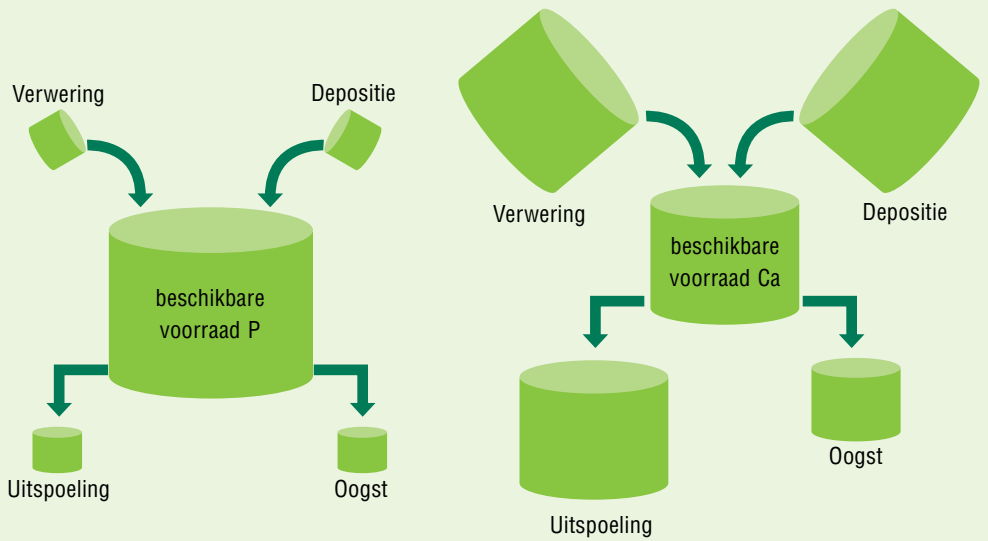
De verandering is berekend voor de boomsoorten berk, beuk, (inlandse) eik, Douglas, fijnspar, grove den en lariks, voor twee of drie oogstniveaus. De nutriëntgehalten kunnen aanzienlijk verschillen tussen boomsoorten. Zo zijn de gehalten Ca, K en Mg in stamhout van eik en beuk in het algemeen hoger dan van de naaldhoutsoorten. In het stamhout van lariks zijn de gehalten Ca, K en Mg juist relatief laag. Hierdoor kan op dezelfde bodemtypen in sommige gevallen bij eenzelfde oogstniveau de voorraad nutriënten bij eik of beuk afnemen terwijl die bij naaldhout nog kan toenemen.

De balans, verandering van de voorraad

Voor de brochure is berekend wat het effect van de oogst is op de beschikbare voorraad nutriënten. Dit is per nutriënt (P, K, Ca, Mg) berekend volgens onderstaande formule:

$$\text{Verandering beschikbare voorraad} = \text{Depositie} + \text{Vertering} - \text{Uitspoeling} - \text{Afvoer door oogst}$$

De grootte van die voorraden is van belang, maar ook de verhouding tussen die voorraden. De hoeveelheid P in de biomassa is in verhouding klein ten opzichte van de direct beschikbare voorraad in de bodem, terwijl de voorraad Ca, K en Mg in de biomassa juist relatief groot is ten opzichte van de direct beschikbare voorraad in de bodem. Door oogst kan er dan ook een groot deel van de voorraden Ca, K en Mg afgevoerd worden, terwijl dat bij P in veel gevallen beperkt is.



FIGUUR 3. Verhouding tussen de beschikbare voorraad in de bodem en de aanvoer en afvoer, voor P (links) en Ca (rechts) over één omloop grove den van 100 jaar met een oogst van 600 m³ werkhout (in kg/ha, op schaal)

De totale voorraad Ca, K en Mg in het moeder-materiaal is groot ten opzichte van de direct beschikbare voorraad, welke jaarlijks door verwerking vrij komt. De voorraad P in moeder-materiaal is beperkt, waardoor er relatief weinig P uit verwerking vrijkomt. Figuur 3 laat dit zien voor P en Ca. Het plaatje van K of Mg lijkt op dat van Ca.

Nutriënten in deze brochure

De brochure richt zich op vier belangrijke (macro)nutriënten: calcium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), en fosfor (P). Deze worden hieronder kort beschreven.

Calcium

Bomen hebben calcium nodig voor de regulering van de wateropname en enzym-activiteit en calcium is bovendien nodig voor de stevigheid. Calciumgebrek wordt zelden waargenomen. Een tekort kan o.a. leiden tot geelverkleuring en uiteindelijk necrose (dode, zwarte vlekken), beginnend aan de randen en tussen de nerven. De loofhoutsoorten en fijnspar hebben relatief hoge Ca-gehalten in het stamhout (ca. 1,5 g/kg ds). Dit komt voor een groot deel door hoge gehalten in de schors. De gehalten in takhout zijn voor alle soorten gemiddeld hoger dan in stamhout, namelijk ca. 3 g/kg ds. Bij eik en beuk en in mindere mate berk en fijnspar, dient er rekening mee gehouden te worden dat de balans door oogst negatief kan worden. Dit betekent dat er meer nutriënten worden afgevoerd dan er worden aangevoerd. Dit treedt vooral op bij de hogere oogstniveaus.

Magnesium

Magnesium is voor bomen van belang vanwege de aanmaak van bladgroen en voor de fotosynthese. Magnesiumgebrek uit zich in hardgele verkleuring van vaak de toppen van naalden met een scherpe overgang, en bij blad geelverkleuring tussen de nerven, met uiteindelijk necrose tot gevolg. De Mg-gehalten zijn betrekkelijk laag in stamhout; gemiddeld 0,15 g/kg ds. Variërend van 0,1 g/kg ds bij Douglas en lariks tot ca. 0,3 g/kg ds bij de

beuk. Het gemiddelde gehalte van magnesium in takhout is 0,5 g/kg ds. Oogst van hout en top- en takhout blijkt voor magnesium in geen van de situaties tot een negatieve balans te leiden.

Kalium

Kalium is nodig voor de wateropname en het nutriëntentransport, de werking van enzymen en aanmaak van eiwitten. Een tekort aan K verhoogt de gevoeligheid voor schimmel-infecties, beïnvloedt de groei ongunstig en veroorzaakt een vermindering van de droogte- en vorstresistentie. Het is ook te zien aan gedeeltelijke geelkleuring van blad en naalden (veelal de punten en randen). Het gemiddelde K gehalte in stamhout is 0,6 g/kg ds. De hoogste gehalten in stamhout komen voor bij beuk (ca. 1,0 g/kg ds) en eik (ca. 0,8 g/kg ds). In takhout is het gemiddelde K gehalte 1,8 g/kg ds, en de verschillende boomsoorten wijken daar niet meer dan 15% van af. Bij eik en beuk dient er rekening mee gehouden te worden dat de balans door houtoogst (ook zonder takhout) negatief kan worden op de gepresenteerde bodemtypen

Fosfor

Een boom heeft P nodig voor het stofwisselingsproces. Fosfor is een bestanddeel van enzymen en DNA. Fosforgebrek leidt tot kleinere bladeren en naalden, die van donkergroen naar violet kunnen kleuren, en tot een afname van de groei. In stamhout zit betrekkelijk weinig P: gemiddeld 0,07 g/kg ds. Bij de loofhoutsoorten is dat 0,1 g/kg ds en bij de naaldhoutsoorten 0,05 - 0,06 g/kg ds. In het takhout zijn de gehalten gemiddeld 0,4 g/kg ds en de verschillende boomsoorten wijken

daar niet meer dan 20% van af. De aanvoer van P is naar verhouding in veel gevallen klein. Vooral bij de loofbomen wordt bij oogst al snel meer dan de aanvoer afgevoerd. Maar ook bij lariks en grove den, en in mindere mate Douglas en fijnspar, kan de balans door oogst (ook zonder takhout) negatief worden. De negatieve balans is vaak maar klein ten

opzichte van de beschikbare voorraad in de bodem (zie Figuur 3), zodat er door oogst van hout en biomassa er meestal geen tekorten zullen ontstaan. Waar de balans negatief is en de voorraad (te bepalen middels bodem-analyse) klein blijkt te zijn, kan betrekkelijk eenvoudig met een P-gift de voorraad voor lange termijn aangevuld worden.



Mg-gebrek bij linde



K-gebrek bij zomereik



K-gebrek bij Hollandse iep

3 Uitwerking voor de praktijk

In de onderstaande tabellen is voor verschillende boomsoorten op arme-, matig rijke – en rijke zandgronden samengevat wat de effecten zijn bij verschillende combinaties van bodem en oogstniveau. Het **oogstniveau** is de gemiddelde hoeveelheid oogst van werkhout over de gehele omloop van een opstand, ongeacht de lengte van een omloop. Als een opstand over 80 jaar $640 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ is gegroeid, en de volledige bijgroei is geoogst, dan is het oogstniveau $640/80 = 8 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Als in diezelfde opstand over de gehele omloop $40 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ van het werkhout als dood hout is achtergebleven en de rest is geoogst, dan is het oogstniveau $(640-40)/80 = 7,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

Er is gerekend met oogstniveaus van 4 (laag), 7 (gemiddeld) en 11 (hoog) $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Alle oogstniveaus zijn uitgedrukt in volume werkhout (stamhout dikker dan 7 cm). Tak- en tophout wordt niet meegenomen in dat getal, ongeacht het wel of niet oogsten daarvan bij de eindkap. Het wordt uiteraard wel meegerekend in de afvoer van nutriënten door oogst

De beheerder moet zelf bepalen wat het oogstniveau in zijn te beoordelen situatie is. In de tabellen worden voor sommige boomsoorten twee en voor andere boomsoorten drie oogstniveaus gepresenteerd. Uitgangspunt hiervoor zijn de oogstniveaus die in Nederland voor de onderscheiden bodem-

klassen en boomsoorten kunnen voorkomen. Dit betreft de gemiddelde oogst over de gehele omloop, inclusief eindkap. Er zijn twee varianten gegeven:

1. Alleen oogst stamhout
2. Oogst stamhout en bij eindkap ook oogst van tak- en tophout, en bij Douglas, groveden en fijnspar met naalden

Het effect op de voorraad nutriënten is aangegeven in kleurcodes (zie volgende pagina). In de tabellen is daarbij weergegeven welke nutriënten kunnen toenemen of juist afnemen. Deze uitkomst voor P is niet in de kleurcodes opgenomen, omdat de voorraad van P in bijna alle situaties afneemt (meer afvoer dan aanvoer), en omdat de netto afname klein is ten opzichte van de beschikbare voorraad in de bodem. P is als letter in de tabellen aangegeven, als de voorraad afneemt.

KLEURCODE	BETEKENIS
Donker Groen	Aanvoer nutriënten groter dan de afvoer.
Licht groen	Aanvoer en afvoer van nutriënten zijn gelijk.
Oranje	Afvoer van nutriënten groter dan aanvoer.
Grijs	Niet van toepassing (oogstniveau is groter dan bijgroei voor betreffende boomsoort). Deze situatie komt niet voor in de praktijk.

Indien er een of meer elementen zijn vermeld, geldt dat er voor dit of deze elementen sprake is van een afname van de voorraad.

Als voorbeeld zijn hieronder enkele velden van de tabellen toegelicht:

KLEURCODE	BETEKENIS
	Voorraad van alle nutriënten kan toenemen.
P	Voorraad van nutriënten Ca, K, of Mg kan toenemen. Maar de voorraad P kan afnemen.
	Een of meerdere nutriënten van Ca, K, of Mg is in balans.
P	Een of meerdere nutriënten van Ca, K, of Mg is in balans. De voorraad P kan afnemen.
K P	Voorraad van nutriënten K en P kan afnemen. Ca en Mg zijn in balans of kunnen toenemen.

In de de tabellen op de volgende pagina's (Tabel 2 t/m Tabel 9) zijn voor de regio's Noord, Oost, Midden en Zuid Nederland de effecten op de voorraden op droge zandgrond weergegeven voor het oogsten van alleen stamhout en voor het oogsten van stamhout en tak- en top hout bij eindkap.

Daaruit blijkt dat bij het oogsten van alleen stamhout voor beuk en eik de balans voor Ca en K in veel situaties de voorraad kan afnemen. Alleen bij een laag oogstniveau ($4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) is de oogst voor eik voor alle bodems en alle regio's rond het evenwichts-

niveau en voor beuk alleen voor matig rijke (m.u.v. Zuid Nederland) en rijke zandgronden. Voor fijnspar en Douglas kan de voorraad ervan afnemen bij een hoog oogstniveau. Bij alle boomsoorten kan de voorraad P afnemen afhankelijk van het oogstniveau. Bij het oogsten van stamhout en tak- en top hout bij eindkap kan voor beuk en eik de voorraad ook bij lage oogstniveaus afnemen. De beschikbare voorraad P kan bij oogst van tak- en top hout bij eindkap bij vrijwel alle boomsoorten en oogstniveaus afnemen in de regio's Noord, Oost en Midden.



Omdat de oogst in bosbeheertypen met natuurfunctie in het Subsiestelsel Natuur en Landschap (SNL) beneden de 20% van de bijgroei ligt is hier ook aandacht aan besteed. Uitgaande van een bijgroei in bosbeheertypen met natuurfunctie in het SNL van $7,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$, betekent een oogst van 20% van de bijgroei een maximale oogst van $1,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Dit oogstniveau leidt alleen voor de loofhoutsoorten (eik, beuk, berk) nog tot een afname van de beschikbare voorraad van alleen P. Voor de overige nutriënten en de naaldhoutsoorten wordt bij dit niveau geen afname van de voorraad nutriënten verwacht.

Daarvoor dient de oogst wel enigermate gelijkmatig over het perceel te worden uitgevoerd. Als er pleksgewijs veel geoogst wordt, kan ook pleksgewijs de voorraad afnemen.

Opvallend is dat in geen van de beschouwde situaties een negatieve balans van Mg optreedt. Voorts zijn er enkele opvallende verschillen tussen de regio's. In Zuid-Nederland is de balans voor P duidelijk in minder situaties negatief dan in de andere regio's. K of Ca nemen hier juist in meer situaties af dan in de andere regio's. Deze verschillen zijn het gevolg van het verschil in depositie.



Noord-Nederland

TABEL 2. Balans bij oogst alleen stamhout in Noord Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas			K P			K P			K P
Fijnspar		Ca	Ca K P			Ca K P			Ca P
Grove den		P	nvt		P	nvt		P	nvt
Lariks	P	P	P	P	P	P	P	P	P

TABEL 3. Balans bij oogst stamhout en bij eindkap tak- en tophout in Noord Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	K P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	Ca P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas	P	K P	Ca K P	P	K P	Ca K P	P	K P	K P
Fijnspar	P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P	P	Ca P	Ca K P
Grove den	P	K P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Lariks	P	P	K P	P	P	K P	P	P	K P

Oost-Nederland

TABEL 4. Balans bij oogst alleen stamhout in Oost Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ⁻³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas			K P			K P			K P
Fijnspar			Ca K P			Ca P			Ca P
Grove den		P	nvt		P	nvt		P	nvt
Lariks		P	P		P	P		P	P

TABEL 5. Balans bij oogst stamhout en bij eindkap tak- en tophout in Oost Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ⁻³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	K P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas	P	K P	Ca K P	P	K P	K P	P	K P	K P
Fijnspar		Ca K P	Ca K P		Ca P	Ca K P		Ca P	Ca K P
Grove den	P	P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Lariks	P	P	K P	P	P	K P	P	P	P

Midden-Nederland

TABEL 6. Balans bij oogst alleen stamhout in Midden Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas		P	K P		P	K P		P	K P
Fijnspar			Ca K P			Ca K P			Ca P
Grove den	P	P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Lariks	P	P	P	P	P	P	P	P	P

TABEL 7. Balans bij oogst stamhout en bij eindkap tak- en tophout in Midden Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	K P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas	P	K P	K P	P	K P	K P	P	K P	K P
Fijnspar	P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P	P	P	Ca K P
Grove den	P	K P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Lariks	P	P	K P	P	P	K P	P	P	K P

Zuid-Nederland

TABEL 8. Balans bij oogst alleen stamhout in Zuid Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ⁻³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	K P	Ca K P	Ca K P	P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas			K P			K P			K P
Fijnspar			Ca K			Ca K			Ca
Grove den		P	nvt		P	nvt		P	nvt
Lariks		P	P		P	P		P	P

TABEL 9. Balans bij oogst stamhout en bij eindkap tak- en tophout in Zuid Nederland

Grondsoort	Arme zandgronden			Matig arme zandgronden			Rijke zandgronden		
	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Oogstniveau (m ⁻³ ha ⁻¹ jr ⁻¹)	4	7	11	4	7	11	4	7	11
Berk	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Beuk	K P	Ca K P	nvt	K P	Ca K P	Ca K P	K P	Ca K P	Ca K P
Eik	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt	P	Ca K P	nvt
Douglas		K P	K P		K P	K P		K P	K P
Fijnspar		Ca K P	Ca K P		Ca K P	Ca K P		Ca P	Ca K P
Grove den	P	K P	nvt	P	P	nvt	P	P	nvt
Lariks	P	P	K P	P	P	K P	P	P	K P

Hoe nu verder?

Uit de tabellen blijkt dat in verschillende situaties de voorraad nutriënten kan afnemen. Wat daarvan de uiteindelijke gevolgen zijn voor het bos is niet eenvoudig aan te geven. Bij lagere voorraden, of in geval van K, Ca en Mg soms zelfs vrijwel uitgeputte voorraden, zal het bos aangewezen zijn op wat er via vertering en depositie beschikbaar komt. Vooral P en K blijken uit verschillende studies effect te hebben op de groei. Het is niet duidelijk of de aanvoer van vertering en depositie voldoende is om de huidige groei, die ook veel wordt gedreven door N-depositie, in stand te houden.

De verschillende nutriënten spelen daarnaast natuurlijk een rol in het functioneren van het ecosysteem en het vitaal houden van de bomen. Ook hier is niet duidelijk wat het effect is van een lagere beschikbaarheid en of de aanvoer vanuit vertering en depositie voldoende is. De risico's op een lagere groei of verminderde vitaliteit worden door een afname van de voorraden wel groter.

Om de nadelige effecten van houtoogst te beperken kunnen maatregelen getroffen worden om de nutriëntenbalans positief te beïnvloeden. De belangrijkste maatregel daarvan is



het toedienen van een gerichte bemesting. In het verleden is bij aanleg of verjonging van bos in veel gevallen bemesting toegepast. Dit is momenteel geen gebruikelijke praktijk meer. Het effect van nutriëntengiften is op korte termijn niet altijd zichtbaar. Nutriëntengiften kunnen het beste gezien worden als een aanvulling van de voorraad op de langere termijn. Daarbij dient vooral voor Ca, K en Mg gewerkt te worden met zeer langzaam werkende bemestingsproducten (die geen stikstof bevatten), zoals steenmeel. Een eenmalige mestgift van Ca, K en Mg is immers alleen zinvol als deze gedurende vele jaren ef-

fect heeft. Bovendien voorkomt dit negatieve effecten op de ondergroei (door verlaging van de zuurgraad, verhoogde mineralisatie en verminderde P-beschikbaarheid) en verhoogde uitspoeling.

Bij het toepassen van P-bemesting is er niet of nauwelijks sprake van negatieve bijeffecten. Het wordt goed gebonden in de bodem en heeft geen effect op de zuurgraad van de bodem. Daarnaast is een relatief lage gift genoeg om de balans op peil te houden. In de meeste bodems is de beschikbare voorraad P in relatie tot de P-afvoer gedurende één omloop groot. Dit hoeft niet overal het geval te zijn, maar dit kan worden gecontroleerd door een bodemanalyse uit te voeren voor P.

Bij oogst kan in gevallen van afnemende voorraden, naast het achterlaten van tak- en top-hout, ook gedacht worden aan het achterlaten van minder waardevolle delen van de oogst, zoals de dunnere bomen en de kromme en takkige stammen. Het uitstellen van eindvellingen kan iets bijdragen, onder meer doordat er na de eindvelling gedurende enkele jaren wat meer uitspoeling optreedt en dit bij een langere omloop minder vaak optreedt.

Voorbeeldsituaties

Op de volgende pagina's zijn enkele voorbeelden uitgewerkt om te laten zien hoe de tabellen in de praktijk kunnen worden gehanteerd.



VOORBEELD 1

De situatie

Een beheerder in het midden van het land heeft een 100-jarige opstand grove dennen van groeiklasse 6 op een matig arme zandgrond (Hd21). Hij wil eindkap met oogst van takhout toepassen.

Groeiklasse 6 geeft aan dat de maximaal haalbare bijgroei gemiddeld over de omloop $6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ is. In de praktijk wordt een lagere bijgroei van ca. $5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ gehaald, omdat de bijgroei op hogere leeftijd weer wat afneemt.

De tabel en de interpretatie

P	Voorraad van nutriënten Ca, K, of Mg kan toenemen. Maar de voorraad P kan afnemen.
P	Een of meerdere nutriënten van Ca, K, of Mg is in balans. Maar de voorraad P kan afnemen.

- Tabel 7 (oogst stamhout en bij eindkap ook tak- en tophout) geeft de lichtgroene kleur aan voor een oogstniveau van $7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ (een of meerdere nutriënten van Ca, K, of Mg is in balans) en een donkere voor $4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Er kan van uit gegaan worden dat bij een oogstniveau van $5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ ook bij oogst van tak- en tophout bij eindkap alle nutriënten in de voorraad toe kunnen nemen. De volledige bijgroei kan gezien vanuit de nutriëntenvoorraden zonder verwachte problemen geoogst worden. Wel treedt er een negatieve balans voor P op. Een nadere bodemanalyse kan uitsluitel geven of dit een probleem vormt. Een P-mestgift kan indien nodig uitkomst bieden.

VOORBEELD 2

De situatie

Een beheerder in het zuiden van het land heeft een 80-jarige opstand lariksen van groeiklasse 8 op een matig arme zandgrond (Y21). Hij wil eindkap met oogst van takhout toepassen. De bijgroei is gemiddeld over 80 jaar iets lager geweest dan de maximaal gemiddelde bijgroei van $8 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ die de groeiklasse aangeeft, en wordt geschat op $7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

De tabel en de interpretatie

P	Voorraad van nutriënten Ca, K, of Mg kan toenemen. Maar de voorraad P kan afnemen.
---	---

- Voor het oogstniveau van $7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ geeft de tabel aan dat de voorraad nutriënten voor Ca, K en Mg toe kunnen nemen, maar dat die van P afneemt bij oogst van stamhout en bij eindvelling takhout- en tophout. Een kleine afname van P hoeft geen probleem te zijn. De beheerder zou de bodem kunnen laten analyseren op P om te kijken of het P gehalte voldoende is. Zo ja, dan kan er zonder probleem takhout geoogst worden. Zo nee, dan kan een P-mestgift op zijn plaats zijn, of er kan van afgezien worden van de oogst van takhout.

VOORBEELD 3

De situatie

Een beheerder in het noorden van het land heeft een 70-jarige opstand fijnsparren van groeiklasse 7 op een arme zandgrond (Hn30). Hij wil eindkap met oogst van takhout toepassen. De bijgroei is gemiddeld over de leeftijd ongeveer $7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ geweest.

De tabel en de interpretatie

Ca K P	Negatieve balans voor Ca, K en P. Mg is in balans of kan toenemen.
--------	--

- De tabel geeft aan dat de voorraden Ca, K en P kunnen afnemen. Voor K en Ca is dat in het algemeen nadeliger dan voor P, gezien de grootte van de voorraden. Als er wordt afgezien van de oogst van takhout geeft de tabel, bij alleen oogst stamhout, aan dat alleen de beschikbare voorraad Ca in de bodem nog kan afnemen. Op termijn kan eventueel steenmeel worden toegediend, wanneer hier meer ervaring mee is opgedaan.

VOORBEELD 4

De situatie

Een beheerder in het oosten van het land heeft een 60-jarige eikenopstand op een rijke zandgrond (Zn23), met groeiklasse 8. De bijgroei is gemiddeld ongeveer $7,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ geweest. De beheerder heeft de opstand altijd min of meer volgens de opbrengsttabellen gedund. De opstand is aan weer dunning toe.

De tabel en de interpretatie

Ca K P	Negatieve balans voor Ca, K en P. Mg is in balans of kan toenemen.
--------	--

- De tabel geeft voor meerdere nutriënten aan dat de voorraad kan afnemen als gemiddeld $7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ wordt geoogst. Om risico's daarvan te verkleinen kan er voor gekozen worden om afvoer te beperken door bij dunning (een deel van) de minder waardevolle bomen achter te laten in het bos: de bomen met lagere kwaliteit en de dunnere onderstandige bomen, waarvan de nutriënten weer beschikbaar komen. Voor P kan de voorraad beoordeeld worden en eventueel kan P worden toegediend. In verband met de voorraden Ca en K is het goed de vitaliteit van de eiken in de gaten te houden. Op termijn kan gedacht worden aan het toedienen van bijvoorbeeld steenmeel, als hier meer ervaring mee is opgedaan.

Bijlage 1

Kaart met indeling van de regio's

FGR

- Zand midden
- Zand noord
- Zand oost
- Zand zuid
- Duinen
- Heuvelland
- Lagveengebied
- Niet ingedeeld
- Rivierengebied
- Zeekleigebied

