

Aanzet voor een adviessysteem voor oogst uit het bos

Voor een evenwichtige nutriëntenbalans en een goede functievervulling van het bos

J.J. de Jong, J.J. van den Briel, W. de Vries en J.H. Spijker

ALTERRA WAGENINGEN UR

probos

Aanzet voor een adviessysteem voor oogst uit het bos

Voor een evenwichtige nutriëntenbalans en een goede functievervulling van het bos

J.J. de Jong [1], J.J. van den Briel [2], W. de Vries [1] en J.H. Spijker [1]

1 Alterra Wageningen UR

2 Probos

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Waarde van groen' (projectnummer BO-11.012-021).

Alterra Wageningen UR
Wageningen, januari 2014

Alterra-rapport 2494
ISSN 1566-7197

Jong, J.J. de, J.J van den Briel, W. de Vries en J.H. Spijker (projectleider), 2014. *Aanzet voor een advies-systeem voor oogst uit het bos; Voor een evenwichtige nutriëntenbalans en een goede functievervulling van het bos.* Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2494. 52 blz.; 7 fig.; 21 tab.; 82 ref.

In Nederland zijn afspraken gemaakt om meer biomassa uit het bos te oogsten. Hierdoor kan de beschikbaarheid van voedingsstoffen afnemen. Dit rapport geeft een overzicht over de in andere landen bestaande systemen om uitputting van bosbodems tegen te gaan. Verder wordt een analyse gemaakt van de beschikbaarheid van gegevens om nutriëntenbalansen voor het Nederlandse bos op te stellen en worden eerste indicaties van de balanstermen en voorraden voedingsstoffen gegeven. Afsluitend wordt een aanzet gegeven voor een adviessysteem dat geschikt is voor praktisch gebruik door terreinbeheerders om eraan bij te dragen dat oogst van biomassa uit het bos kan plaatsvinden zonder dat dit tot ongewenste uitputting van nutriënten in de bodem leidt.

Trefwoorden: houtoogst, tak- en tophout, biomassa, energie, voedingsstoffen, nutriënten, bodem, adviessysteem, richtlijnen, bos, voedingsstoffenbalans, nutriëntenbalans, verwering, depositie, uitspoeling.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek),
Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00,
E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2494| ISSN 1566-7197

Foto omslag: J.J. de Jong

Inhoud

Samenvatting **5**

1 Inleiding **9**

1.1 Achtergrond 9
1.2 Probleem- en doelstelling 10
1.3 Werkwijze 10

2 Overzicht internationale systemen **12**

2.1 Inleiding 12
2.2 Overzicht van adviessystemen voor biomassa-oogst en bodembescherming 13
2.3 Enkele voorbeelden uit buurlanden 15
2.4 Conclusies 17

3 Achtergrond voor richtlijnen op basis van een nutriëntenbalans-benadering **18**

3.1 Inleiding/Opzet 18
3.2 Uitwerking mineralenbalansen 21
3.2.1 Beschikbare en totale bodemvoorraden 21
3.2.2 Depositie 24
3.2.3 Verwering 26
3.2.4 Afvoer 28
3.2.5 Uitspoeling 34
3.3 Resumé 35

4 Aanzet voor adviessysteem **37**

4.1 Bepalen van de geadviseerde afvoer 37
4.2 Toepassing adviessysteem 38
4.3 Omissies, onzekerheden en benodigde aanvullende kennis 38

5 Aanzet voor het meenemen van overige effecten van de oogst van biomassa in het adviessysteem **40**

5.1 Bodemstructuur 40
5.2 Biodiversiteit 41

6 Resultaten van de workshop **43**

7 Conclusies en aanbevelingen **44**

7.1 Conclusies 44
7.2 Aanbevelingen 47

Literatuur **48**

Samenvatting

In Nederland is er belangstelling voor een hoger oogstniveau uit Nederlandse bossen, waarbij naast het stamhout ook een deel van het tak- en tophout wordt geoogst. Dit sluit aan op de nationale ambitie om meer hernieuwbare energie te produceren en ook op de transitie naar een biobased economy. Eén van de zorgen bij een hoger oogstniveau is een mogelijke uitputting van de bosbodem, waardoor op middellange en lange termijn de productiviteit van het Nederlandse bos kan worden aangetast.

Doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een aanzet voor een praktische door de beheerder te gebruiken adviessysteem. Bij dit onderzoek zijn twee lijnen uitgewerkt.

De eerste lijn is het in kaart brengen van de in andere landen bestaande richtlijnen. De tweede lijn is het zo goed mogelijk opstellen van een nutriëntenbalans voor het Nederlandse bos. Op basis van deze twee lijnen is een aanzet gegeven voor richtlijnen of vuistregels die geschikt zijn voor de Nederlandse praktijk. Deze uitkomsten zijn besproken in een workshop met vertegenwoordigers van beleid en praktijk.

Internationale systemen en bodembescherming
Uit dit onderzoek (zie hoofdstuk 2) komt duidelijk naar voren dat in een toenemend aantal landen aan richtlijnen wordt gewerkt voor de oogst van biomassa ter vermijding van schade en uitputting van de bodem. Er zijn enkele landen zoals Zweden, Finland en Engeland die al op meerjarige ervaring kunnen bouwen. Er bestaat een grote variëteit tussen de systemen, hoewel de meeste met elkaar gemeen hebben dat ze voornamelijk op deskundigenoordeel zijn gebaseerd.

De meest gebruikte criteria zijn:
1. Diepte van de bodem;
2. Hellingshoek/erosiegevoeligheid;
3. Natheid/kwaliteit ontwatering;
4. Bodemvruchtbaarheid.

Het tweede criterium is voor de Nederlandse bossen minder relevant, omdat bossen op steile hellingen bijna niet voorkomen. Bovendien is de oogst uit deze bossen uit het oogpunt van natuurbescherming zeer beperkt. Voor Nederland is bodemvruchtbaarheid het belangrijkste aandachtspunt, omdat een belangrijk deel van de bossen op arme bodems ligt. Een verschil met een aantal andere landen is wel, dat we in Nederland een belangrijke stikstofdepositie hebben waardoor voor Nederland de nadruk niet op die voedingsstof ligt, terwijl dit in sommige andere landen wel zo is.

Bij het ontwikkelen van richtlijnen is het essentieel:
1. Praktijk- en wetenschappelijke kennis te bundelen.
2. Bij de opzet van de richtlijnen goed na denken over het toekomstig gebruik, de formele status en de handhaving. Dit kan namelijk mede bepalend zijn voor ontwerp en uitvoering.
3. De monitoring ter evaluatie en verbetering van het adviessysteem over een langere periode te faciliteren met praktijkexperimenten.

Nutriëntenbalans
Voor een goede inschatting van de voedingsstoffenbalansen per locatie zijn al verschillende gegevens beschikbaar. Hoofdstuk 3 biedt daarvan een overzicht. Hieronder volgen de belangrijkste resultaten.

1. Voorraden
Van de voorraden in de bodem is een redelijke inschatting van de meeste voedingsstoffen te maken. Voor de voor Nederland belangrijke zandgronden zijn goede gegevens beschikbaar. Van de kationen is in eerste instantie alleen een grove inschatting gemaakt voor veen, löss en kleibodems, maar

nauwkeurigere gegevens zijn beschikbaar. Een belangrijke stap is daarnaast het koppelen van de gegevens aan algemeen bruikbare classificatie-eenheden, bijvoorbeeld bepaalde bodemtypen (arm of rijk zand) al dan niet in combinatie met vegetatiekenmerken.

2. Depositie
Van de depositie zijn goede gegevens naar locatie beschikbaar van het RIVM. Een verdere verbetering is het koppelen van de hoeveelheid depositie (invang) aan de boskenmerken (boomsoort). Hiervoor zijn al redelijke gegevens beschikbaar.

3. Verwering
Van verwering zijn voor de basenkationen indicatieve gegevens beschikbaar per bodemsoort. Voor P waren die gegevens nog niet beschikbaar, maar buitenlands onderzoek wijst er op dat de verwering van P relatief klein is en dat wijst op een potentieel probleem voor P. Voor verwering zijn binnen Wageningen UR modellen beschikbaar, die aanvullende gegevens kunnen genereren.

4. Afvoer door oogst
Van de afvoer door oogst zijn goede inschattingen te maken op basis van hoeveelheden hout die worden afgevoerd en de concentraties voedingsstoffen in de verschillende boomcomponenten. De berekeningen kunnen echter verbeterd worden door de concentraties in boomcomponenten afhankelijk te maken van de (beschikbaarheid van voedingsstoffen in de) bodem.
Voor de groei is het verder ook relevant om op basis van de bodemkenmerken een goede inschatting te maken van de bijgroei. Om de oogst van takhout goed in te schatten is het verder relevant om na te gaan of de verhouding stamhout / tak- en tophout verbeterd kan worden, bijvoorbeeld door die afhankelijk te maken van de leeftijden of diameters van de bomen.

5. Uitspoeling
Van uitspoeling zijn indicatieve gegevens beschikbaar. Uitspoeling is voor een belangrijk deel een resultante van de voorgaande balanstermen. Dat maakt het moeilijk om er concrete uitspraken over te doen. Wel is bekend dat de uitspoeling van bijvoorbeeld P uit bosbodems erg klein is.

Voedingsstoffen beperkter beschikbaar op zandgronden
De hoeveelheden beschikbare voedingsstoffen (P, K, Ca en Mg) zijn op zandgronden gemiddeld aanzienlijk lager dan op veen, löss- of kleigronden. De helft van de zandgronden heeft minder dan (afgerond) 250 kg Ca, 100 kg K en 65 kg Mg per hectare in de bovenste 30 cm van de bodem. Deze beschikbare hoeveelheden worden in een rotatie ruim afgevoerd bij matige groei en bij oogst van de volledige bijgroei, inclusief stamhout en blad/naalden. Op de rijkere gronden is de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen al snel vier tot vele malen groter dan die voor de armere zandgronden.

Het is voor de armere zandgronden van belang dat de voedingsstoffen weer worden aangevuld door depositie en verwering, liefst tot een niveau van minimaal de hoeveelheid die gemiddeld jaarlijks wordt afgevoerd, zodat de beschikbaarheid van voedingsstoffen op peil blijft. Die afvoer is bij een matige groei bij dunning en eindvelling van de bijgroei voor K ± 3,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, voor Ca ± 5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en voor Mg ± 1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Oogst van takhout met blad / naalden leidt in veel gevallen tot een verdubbeling van de afvoer tot voor K ± 7,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, voor Ca ± 9,3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en voor Mg ± 1,7 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Daarnaast is er nog verlies van voedingsstoffen door uitspoeling. Deze zal echter lager zijn naarmate er minder voedingsstoffen beschikbaar zijn.

Veel zandgronden kunnen een dergelijke afvoer niet compenseren met voedingsstoffen uit depositie en verwering. De depositie van K bedraagt bijvoorbeeld 1 tot 3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en de verwering levert een vergelijkbare hoeveelheid. Voor Ca is de depositie ongeveer 6 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, maar deze is juist in het bosrijke oosten van Nederland beduidend lager, terwijl de verwering veelal slechts minder dan 1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ levert.

Het is daarom van belang uit te zoeken bij welke combinaties van bodems, regio's en beheer de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen af kan gaan nemen en wat daarvan de gevolgen van kunnen zijn, en hoe daar het beste mee omgegaan kan worden.

Aanzet voor een adviessysteem
In hoofdstuk 4 is een aanzet voor een adviessysteem opgesteld. Bij het opstellen daarvan is het van belang om duidelijk uitgangspunt te kiezen. De hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen die men in de bodem wenst is afhankelijk van het gekozen uitgangspunt en dat is een beleidskeuze.

Mogelijke uitgangspunten zijn:
1. De beschikbaarheid van voedingsstoffen mag niet afnemen.
2. De beschikbaarheid van voedingsstoffen mag niet onder een bepaalde grens komen.
3. De afvoer mag maximaal een bepaald effect hebben op de bijgroei (houtproductiefunctie).
4. De hoeveelheid organische stof.

Een combinatie van bovenstaande uitgangspunten is mogelijk.

Een geadviseerde maximum afvoer en eventuele mitigerende maatregelen zijn afhankelijk van de factoren regio's (in verband met klimaat en luchtkwaliteit/depositie), bodemsoort (die beschikbaarheid van voedingsstoffen en groei bepalen) en boomsoorten (die de afvoer en groei bepaalt).

Regio's
Er kan een indeling gemaakt worden in regio's met een gelijkwaardige depositie (op basis van klimaat en luchtkwaliteit). Het is voor iedere locatie relatief eenvoudig vast te stellen tot welke regio het behoort door goed kaartmateriaal beschikbaar te maken.
De voorgestelde regio's zijn:
- Kustregio.
- Noordoost.
- Midden- en zuidoost.
- Rest.

Bodems
Voor de bodems is het van belang dat een indeling wordt gebruikt die eenvoudig hanteerbaar is. De basisgegevens kunnen gedetailleerd zijn (bijvoorbeeld bodemtypen van de bodemkaart), maar voor een praktische toepassing kan het beter zijn om bodems te clusteren, bijvoorbeeld op basis van de textuur en rijkdom van het moedermateriaal. Dat kan verder worden onderverdeeld naar de oorsprong van het moedermateriaal.
- Zand, onderverdeeld in arm zand (grof, leemarm), matig rijk zand en rijk zand (fijn, leemhoudend).
- Leem / Löss.
- Klei, onderverdeeld in zeeklei en rivierklei.
- Veen.

Boomsoorten
De boomsoortensamenstelling is een in het veld eenvoudig te bepalen kenmerk. Voor de meest relevante boomsoorten kan de groei op basis van de groeiplaats ingeschat worden. De concentratie voedingsstoffen is voor de meest relevante boomsoorten eveneens in te schatten, hoewel het verband tussen concentraties en groeiplaats aandacht vergt.

Het systeem kan daarmee conform de (nu nog vereenvoudigde) tabel 1 uitgewerkt worden.

Tabel 1
Voorbeeld van een tabel die, eenmaal ingevuld, gebruikt kan worden als richtlijn voor de maximale hoeveelheid af te voeren hout.

Regio	Bodem	Boomsoort	Maximale afvoer takhout	Eventuele mitigerende maatregelen bij grotere oogst
bv. midden en zuidoost	bv. arm zand	bv. grove den	bv. x ton/ha/jr bv. y ton/75 jr (omloop)	bv. oogst takhout 4 maand na velling

Omissies, onzekerheden en benodigde aanvullende kennis

Voor de uitwerking van het beoogde adviessysteem is een groot aantal gegevens nodig. Een groot deel van die gegevens is al beschikbaar. Voor een deel moeten gegevens nog voor het beoogde doel geanalyseerd te worden, en in enkele gevallen is aanvullend onderzoek nodig. In tabel 2 is een overzicht van de status van de gegevens weergegeven.

Tabel 2

Overzicht van beschikbare en ontbrekende gegevens. + = beschikbaar/goed; (+) = beschikbaar te maken (redelijk tot goed); (0) = beschikbaar te maken (redelijk); (-) = literatuur: zwak; - = n.v.t.; Alles met (+) en (0) vereist nader onderzoek.

Flux term	Relevante data	Methode/ Databron	Bepalende factoren	Status				
				N	P	Ca	Mg	K
Voorraad	Bodemanalyses Nederlandse bosopstanden	Literatuur	Grondsoort	+	(+)	+	+	+
Depositie	Natte depositie	RIVM	Regio	+	+	+	+	+
	Droge depositie	metingen Nederlandse locaties	Boomsoort	(0)	(0)	(+)	(+)	(+)
Verwering	Totaalgehalten in bodem	Model en experiment	Grondsoort	-	(-)	(+)	(+)	(+)
Houtafvoer	Groeisnelheid	Groei-inventarisaties Literatuur	Boomsoort Grondsoort Vochtleverantie[1]	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	Houtdichtheid	Vademecum	Boomsoort	+	+	+	+	+
	Elementgehalten	Literatuur	Boomsoort Grondsoort N- en S-depositie	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Uitspoeling	Elementbalansen Waterbalans	Literatuur; ICP Forests	Boomsoort Grondsoort Regio	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Workshop

Uit de workshop kwam naar voren dat er grote interesse is bij terreinbeheerders, Bosschap en andere betrokkenen in een adviessysteem voor biomassaoogst uit het Nederlandse bos. Men heeft behoefte aan goed onderbouwde vuistregels voor oogst van hout en biomassa uit bos. De vuistregels moeten een set van standaardmaatregelen behelzen gekoppeld aan bodemeigenschappen en beheerdoel-stelling en teeltsysteem. Het geheel moet geschikt zijn voor gebruik in het veld, maar ook aansluiten op vragen van beleidsmedewerkers over de functievervulling van het bos. Diverse betrokkenen hebben aangegeven te willen meewerken aan de totstandkoming van het adviessysteem en aan monitoring van het gebruik ervan.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De rijksoverheid heeft ambitieuze doestellingen op het vlak van biobased economy en duurzame energie. Zo moet in 2020 16% van het energieverbruik van duurzame afkomst zijn (Regeerakkoord kabinet Rutte-Asscher, 2012). Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL, 2012) heeft aangegeven dat er veel moet gebeuren om dit doel te bereiken. Voor Nederland is het verhogen van de oogst uit bossen van belang voor het behalen van de doelstellingen van het kabinet voor het aandeel hernieuwbare energie van 16% in 2020. Met de sector natuur, bos, landschap en houtketen zijn hierover al afspraken gemaakt in het Convenant Duurzame Agrosectoren (2008). In 2013 hebben Bosschap, terreinbeheerders, milieu-organisaties en energiemaatschappijen het Houtconvenant afgesloten. In het Houtconvenant spreken partijen af de oogst uit het bos te verhogen van gemiddeld 55% naar gemiddeld 75% van de jaarlijkse bijgroei van stamhout. Dit is nodig om de doelen op vlak van duurzame energie en de transitie naar een biobased economy te kunnen bereiken. Zo'n stijging van het oogstniveau vergt een grote omslag bij de beheerders van bos en landschap. In de tweede helft van de vorige eeuw is het belang van de productiefunctie van bossen en landschapselementen sterk afgenomen. De laatste twee jaar begint daar een kentering in te komen onder meer door wijzigingen in het subsidiestelsel voor natuur. Bijgroei van top- en takhout uit bossen wordt in Nederland tot op heden vrij beperkt geoogst, zoals bij omvorming van bos naar andere natuurtypen.

De doelen van het houtconvenant sluiten aan bij de doelen van het in september 2013 afgesloten Energie-akkoord.

Nederlandse bosbeheerders overwegen momenteel een begin te maken met het oogsten van tak- en tophout voor de vermarkting van biomassa. De keuze waar dit wel/niet te doen wordt nu in eerste instantie op financiële gronden genomen. Waar brengt de oogst voldoende op? De keuze voor techniek en intensiteit van de oogst en logistiek vindt momenteel voornamelijk plaats op basis van praktijkervaring (praktijk van oogst van rondhout), maar is niet wetenschappelijk getoetst op lange termijn duurzaamheid. Het realiseren van hogere oogstniveaus kan namelijk effect hebben op de nutriënten-huishouding van het ecosysteem en daarmee op de productiefunctie zelf, omdat bij het oogsten mineralen uit het bos worden afgevoerd. Het inzetten van biomassa voor energieproductie en als grondstof kan namelijk leiden tot een verhoogde afvoer van biomassa waardoor de voorraad van koolstof in bodem en vegetatie afneemt. Naast effecten op de nutriëntenbalans heeft de toenemende exploitatie voor biomassa en hout mogelijk ook direct of indirect invloed op: (i) bodemvruchtbaarheid door afname van de voorraad aan bodemorganische stof, bodemverdichting en erosie en (ii) de biodiversiteit. Hierdoor kan de exploitatie invloed hebben op de functies natuur, bos en landschap. Bosbeheerders en natuur- en milieu organisaties tonen in toenemende mate bezorgdheid over het perspectief van groeiende biomassaproductie in het Nederlands bos en landschap. De vraag is wat deze groeiende afvoer van biomassa uit bos en landschap voor de functievervulling op lange termijn betekent.

De belangrijkste zorg bij een hoger oogstniveau is het voortbrengend vermogen van de bosbodem. Veel Nederlandse bossen liggen op voedselarme bodems, en hier is een gevaar van uitputting van de bodem niet denkbeeldig, zeker als ook een belangrijk deel van het tak- en tophout en naalden en blad worden weggenomen. Er is momenteel geen informatie over de duurzaamheid op basis van een inschatting van de aanvoer van nutriënten, vooral stikstof (N), zwavel(S), fosfaat (P), calcium (Ca), magnesium (Mg) en kalium (K) middels depositie en verwering gecorrigeerd voor uitspoeling, ten opzichte van de afvoer middels het oogsten en afvoeren van top- en takhout. Veel beheerders geven aan voor de lange termijn meer inzicht in de effecten op het productief vermogen van het bos en de biodiversiteit te willen hebben, zodat ze bij hun beslissingen over oogst van rondhout en andere biomassa uit het bos hierop kunnen sturen.

In het buitenland zijn enkele mitigerende maatregelen opgesteld voor oogst van biomassa uit bossen. Deze maatregelen zijn gericht op het vermijden van uitputting van de bosbodem. Een aantal van deze maatregelen heeft De Jong (2012) in een literatuuronderzoek beschreven. Er ontbreekt nog een lijst van voor Nederland geschikte mitigerende maatregelen, rekening houdend met de Nederlandse situatie. De atmosferische depositie van veel nutriënten is in Nederland wezenlijk afwijkend van die in de bosbouwlanden waar nu mitigerende maatregelen zijn opgesteld en verder is de bodemgesteldheid van ons land in internationaal perspectief zeer eigen, met bossen in een deltagebied, maar wel meestal op soms zeer arme zandbodems.

1.2 Probleem- en doelstelling

Probleemstelling
Er ontbreekt een voor de bosbeheerder eenvoudig te hanteren adviessysteem dat aangeeft welk oogstniveau in een bepaald bos mogelijk is in relatie tot de nutriëntenhuishouding. Hierdoor ontstaan twee risico's:

- Sommige bosbeheerders zijn mede hierdoor erg terughoudend in het verhogen van het oogstniveau, waardoor ze minder oogsten dan mogelijk is vanuit het perspectief van de kringloop van voedingsstoffen. Hierdoor dragen ze enerzijds minder dan gewenst bij aan een biobased economy en de productie van duurzame energie, en missen ze anderzijds een deel van de mogelijke inkomsten uit verkoop van hout en biomassa.
- Andere bosbeheerders die wel aan de slag gaan met een hoger oogstniveau kunnen gemakkelijk bepaalde grenzen overschrijden, waardoor vooral op armere bodems de productiviteit van het toekomstige bos wordt geschaad.

In het buitenland is her en der informatie beschikbaar die gebruikt kan worden voor het opstellen van zo'n adviessysteem. Wel is het van belang de Nederlandse context bij zo'n vertaling goed in te brengen.

Doelstelling
Dit project richt zich op het ontwikkelen van een aanzet van een voor de beheerder van bos, natuur en stedelijk groen bruikbaar en praktisch adviessysteem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van in het buitenland gehanteerde systemen en van de door De Jong (2011) verzamelde informatie. Om te toetsen of de in het buitenland gehanteerde systemen bruikbaar zijn, moeten deze worden afgezet tot de nutriëntenbalans in de Nederlandse situatie. Het systeem richt zich vooral op de relatie tussen de mate van oogst en de balans van de nutriënten N, S, P, Ca, Mg en K door depositie en verwering gecorrigeerd voor uitspoeling, in vergelijking met de afvoer door het oogsten en afvoeren van tak- en tophout. Verder wordt aangegeven hoe effecten op de balans van koolstof, bodemverdichting, erosie en biodiversiteit kunnen worden meegenomen.

Resultaat is een opzet voor een adviessysteem waarbij bossen worden gecategoriseerd voor de mate van geschiktheid voor de oogst van stamhout en tak- en tophout. Hierbij worden de bossen gecategoriseerd naar klassen van bodemvruchtbaarheid, bodemkwetsbaarheid (grondsoort), atmosferische depositie en (globaal) boomsoortensamenstelling en worden voor de verschillende klassen aangegeven wat de maximale oogstniveaus zijn voor stamhout en tak- en tophout.

Naast lange-termijneffecten op het behoud van bodemvruchtbaarheid (nutriëntenvoorraden) wordt kwalitatief aangegeven hoe duurzaamheidscriteria in beschouwing kunnen worden genomen voor effecten op biodiversiteit, bodemverdichting en erosie en lange-termijneffecten op koolstofvoorraden.

1.3 Werkwijze

Er is aangesloten op de beschikbare literatuur. Belangrijke vertrekpunten zijn de voor het ministerie van Economische Zaken uitgevoerde studies naar de relatie tussen oogst van biomassa op de

nutriëntenhuishouding in bossen (Jong, 2011) en de relatie tussen oogst van biomassa uit bos en natuur en biodiversiteit.(Jong *et al*., 2012).

In de nazomer van 2013 (juli - september) is de inventarisatie van de internationaal voorkomende adviessystemen uitgevoerd. Daarvoor is gebruik gemaakt van literatuuronderzoek en het deskundigennetwerk dat aangeboden wordt door de COST-action FP0902, genaamd 'Development and harmonisation of new operational research and assessment procedures for sustainable forest biomass supply' (2009 - 2013). Aan deze COST-actie namen deskundigen op het gebied van engineering en houtige biomassa deel uit 36 landen, waarvan 27 EU-lidstaten.

De deelnemers aan deze COST-actie zijn van 26 tot en met 29 augustus te Joensuu (Finland) bijeen gekomen voor de afsluitende werkconferentie. Drie van de vier auteurs van dit rapport participeerden als deelnemer en hebben met een twintigtal collegae in de wandelgangen over dit onderwerk van gedachten kunnen wisselen. Voorafgaande aan de conferentie was al een selecte groep van (sleutel)-deskundigen uit het COST-netwerk over de inventarisatie geïnformeerd. Zij hebben verwezen naar een tiental niet bij deze COST-actie betrokken deskundigen in vooral Scandinavië en Canada.

2 Overzicht internationale systemen

2.1 Inleiding

Tijdens het OECD/EUROSOIL congres te Bari (2 tot 6 juli 2012) zijn onderzoeksresultaten over de impact van biomassa-oogst op duurzaam bodemgebruik (fysische, chemische en biologische bodem-kwaliteiten evenals bodem-ecosysteemdiensten) besproken en heeft men een aantal nationale richtlijnen vergeleken (Helmisaari en Vanguelova, 2012). Er bleek veel variëteit tussen de landen te bestaan in de vraag naar biomassa uit bosbouw, de manier waarop de oogst plaats vindt en het type en gebruik van richtlijnen ('guidelines'). Men kwam tot de volgende algemene observaties:

- De meeste richtlijnen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op het oordeel van deskundigen die daarbij gebruik maken van wetenschappelijke kennis.
- De wetenschappelijke onderbouwing is onvoldoende op bepaalde aspecten zoals broeikasgasemissies en in mindere mate wat betreft de draagkracht van bodems.
- Nutriëntenbalansanalyse wordt regelmatig gebruikt, maar kan tot verkeerde conclusies leiden als gevolg van onnauwkeurige schatting van verwering en uitspoeling.
- Een multidisciplinaire aanpak verdient de voorkeur waarin criteria voor ecologie, fysische milieuaspecten en economie worden gecombineerd.
- (Nieuwe) richtlijnen moeten gebaseerd worden op wetenschappelijke kennis of expertkennis en lokale karakteristieken. Er kunnen echter veel voordelen behaald worden uit elders opgedane ervaringen.
- Er is behoefte aan meer analyse en ontwikkeling zowel ten aanzien van wetenschappelijke onderbouwing als ten aanzien van de methodologische ontwikkeling van richtlijnen.

In Bari is als gevolg van het bovenstaande besloten tot een vervolg in de vorm van een verdiepende gezamenlijke evaluatie ('peer review'). Deze focust op richtlijnen en hun ontwikkeling in zoveel mogelijk landen, gevolgd door aanvullende analyse van de onderliggende data en gebruikte methoden. Hieruit dienen aanbevelingen voor het ontwikkelen van vuistregels/richtlijnen te volgen. Dr. Inge Stupak (Universiteit van Kopenhagen) en Dr. Brian Titus (Canadese Bosdienst) zijn gekozen als leiders van dit project en worden hierin ondersteund door 21 deskundigen uit elf landen. Het resultaat wordt vastgelegd in een artikel. In oktober 2013 is een start gemaakt met de afronding van dit traject (persoonlijke mededeling Brian Titus, 15 oktober 2013).

Het verslag van de workshop in Bari biedt een redelijk goed overzicht van de internationale verscheidenheid aan bestaande adviessystemen. Tijdens het OECD-congres heeft Inge Stupak van de Universiteit van Copenhagen een overzicht gegeven van een groot aantal richtlijnen, 29 in totaal, die in 2012 beschikbaar waren in Europa, Canada en de Verenigde Staten van Amerika. De beschrijving van deze systemen is opgenomen in het artikel 'Approaches to soil sustainability in guidelines for forest biomass harvesting and production in forests and plantations' (Stupak *et al*., 2012).

Paragraaf 2.2 biedt een overzicht van de internationaal voorkomende richtlijnen. Dit overzicht is ontleend aan het artikel van Stupak *et al*. (2012). Hierbij is gefocust op de historische ontwikkeling, kenmerken, voortkomende maatregelen, de wetenschappelijke basis en gebruik in de praktijk. Uit de eigen inventarisatie bij de COST-actie FP0902 zijn ook voorbeelden uit enkele nabij gelegen West-Europese landen naar voren gekomen. Deze zijn niet allemaal opgenomen in het overzicht van Stupak *et al*. Paragraaf 2.3. geeft een korte karakterisering van richtlijnen uit het nabije buitenland: België/Vlaanderen, Frankrijk en Engeland. In paragraaf 2.4 volgen de conclusies van de inventarisatie.

2.2 Overzicht van adviessystemen voor biomassa-oogst en bodembescherming

Historie
De eerste richtlijnen zijn in Zweden in de late jaren zeventig van de vorige eeuw tot ontwikkeling gekomen. Het initiatief kwam voort uit ongerustheid over de mogelijke impact van biomassa-oogst op het milieu. De laatste edities van de richtlijn dateren van 2002 en 2008. Het Zweedse initiatief is in 2005 gevolgd door Finland. Ook Engeland behoort tot de koplopers, hoewel daar vanaf de jaren negentig van de vorige eeuw de focus meer op de gehele houtoogst is gelegd en niet specifiek op biomassa.

De snel groeiende internationale biomassamarkt heeft met de export van biomassa vanuit de V.S. en Canada naar Europa ook de behoefte aan richtlijnen doen toenemen. Dit startte midden jaren 2000 en in 2012 waren voor tien Noord-Amerikaanse staten en twee regio's richtlijnen ontwikkeld. De Canadese provincie New Brunswick heeft specifieke richtlijnen voor biomassa ontwikkeld, terwijl tien andere Canadese provincies beschikken over meer algemene regelgeving, die ook relevant is voor de biomassa-oogst. Er kan geconstateerd worden dat de ontwikkeling van specifieke richtlijnen in diverse regio's en landen in Noord-Amerika en Europa breed ingang heeft gevonden. Stupak *et al*. rapporteren 29 referenties aan richtlijnen in in totaal twaalf landen.

Bij alle richtlijnen die in het artikel van Stupak *et al*. (2012) zijn geanalyseerd draait het om duurzaam bodemgebruik en de effecten daarop van intensieve biomassaoogst. De reguliere rondhoutoogst uit voor productie beheerde bossen geldt daarbij als referentie. Voor nadere bepaling wordt aangesloten bij Tóth *et al*. (2007) die duurzaam bodemgebruik definiëren als, geparafraseerd, 'het zodanige beheer van de bodem dat dit geen onherstelbare negatieve effecten voortbrengt voor de bodem zelf of een ander ecosysteem'. De potentiële negatieve impact van intensieve biomassaoogst wordt door Stupak *et al*. betrokken op de chemische en fysische bodemeigenschappen, evenals de secundaire effecten op biodiversiteit, waterkwantiteit en -kwaliteit en houtproductie. Bij intensieve oogst gaat het in het artikel overwegend over de oogst van tak- en tophout en/of hout uit (vroege) dunningen. Het effect op andere bosfuncties komt in het artikel niet aan bod. De richtlijnen hebben als doel de boseigenaar en/of beheerder per locatie te ondersteunen in de besluitvorming over het al dan niet oogsten, de oogstintensiteit en de te treffen mitigerende maatregelen.

Vergelijking van de richtlijnen
Een belangrijk kenmerk van de geselecteerde richtlijnen is dat deze in de meeste gevallen de oogst-locaties verdelen in verschillende klassen van gevoeligheid van de bodem voor biomassaoogst. De simpelste systemen classificeren bodems als geschikt dan wel ongeschikt. De gebruikte classificatie-systemen zijn gebaseerd op een set van criteria. Deze zijn te verdelen in bodemcriteria (bodemtype en -vruchtbaarheid) en secundaire criteria zoals productiviteit (houtproductie), bostype of risico van bodemverdichting. De onderstaande lijst geeft een overzicht van de meest gebruikte criteria en van de regio's waar de richtlijnen worden gebruikt.

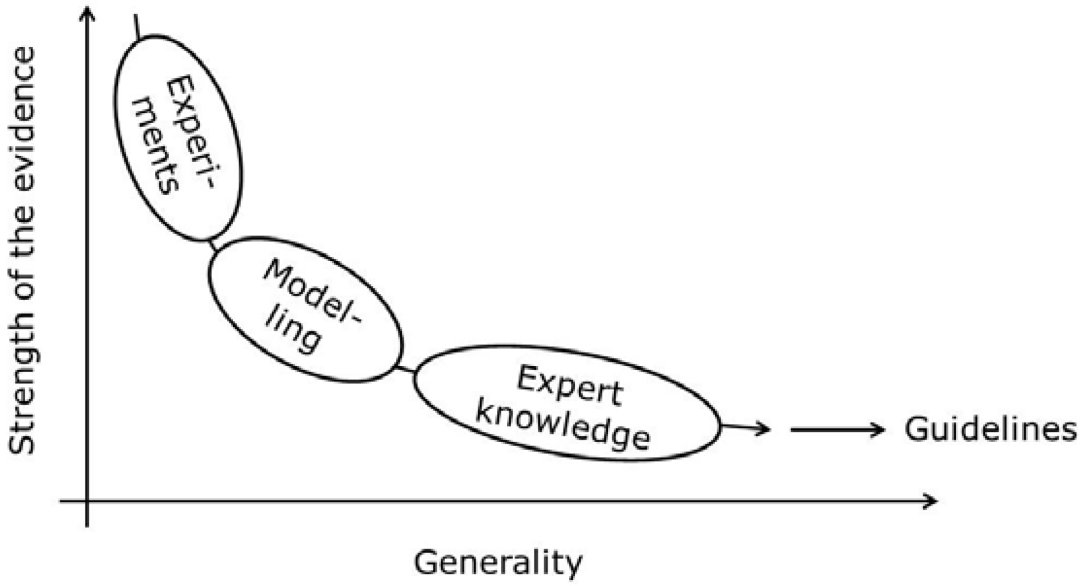
Criterium	Aantal landen	Regio
Ondiepe bodem	12	Canada, USA en EU
Helling/erosiegevoelig	12	USA en EU
Te nat/slechte drainage/lage PH	11	Canada, USA en EU
Te droge arme (zandige) bodem	10	Canada, USA en EU
Te lage bodemvruchtbaarheid	7	USA en EU
Grondwaterbescherming, oevers	4	USA en EU
Te lage PH/te zure gronden	2	EU
Te rotsachtig/stenig	2	Canada en EU
Minerale samenstelling	1	EU
Lage stikstofdepositie	1	EU
Overig	1	EU

De richtlijnen schrijven verschillende beperkingen en/of mitigerende maatregelen voor aan de biomassaoogst wanneer boslocaties als te gevoelig voor intensieve biomassa-oogst worden geclassificeerd. De meest genoemde maatregelen zijn:

- Aangepaste oogstmethode en –techniek.
- Laten staan van specifieke boomsoorten.
- Het verminderen van het aantal oogstmomenten gedurende de omloop.
- Het laten drogen van de biomassa voordat transport uit de opstand plaats vindt (waardoor meer nutriënten in het bos achterblijven).
- Het minimaliseren van fysieke bodemschade.
- Timing van de oogst aanpassen.
- Bemesting met houtas.
- Andere manieren van (kunstmatige) bemesting.

Wetenschappelijke onderbouwing

De wetenschappelijke onderbouwing blijkt per land verschillend. Veel systemen zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op wetenschappelijke kennis die door experts is vertaald naar algemene richtlijnen. Stupak *et al*. onderscheiden drie niveaus van (wetenschappelijke) onderbouwing van richtlijnen: empirische experimenten (1), modellering (2) en deskundigenoordeel (3), zie Figuur 1.



Figuur 1 *Conceptueel model van wetenschappelijke basis voor de ontwikkeling van richtlijnen / adviessystemen. Bron: Stupak et al., 2012.*

Wetenschappelijke experimenten bieden de meest solide onderbouwing maar zijn in de regel zeer locatie-specifiek en niet direct toepasbaar voor andere ecosystemen, laat staan voor andere regio's en landen. Lange-termijnonderzoek vindt nauwelijks plaats en de waarde van korte-termijnonderzoek blijkt beperkt voor het voorspellen van lange-termijneffecten. De complicerende factor is dat korte-termijneffecten soms weer verdwijnen naarmate opstanden ouder worden. Modellering van te verwachten effecten kan plaats vinden op verschillende manieren afhankelijk van de beschikbaarheid van empirische data en conceptuele modellen. Als de data en analyse-modellen ontbreken verlaat men zich in de regel op de kennis van (ervarings)deskundigen.

Stupak *et al*. (2012) hebben voor acht Europese landen in beeld gebracht hoe de kennisbasis voor biomassa-oogst richtlijnen tot stand is gekomen. In Zweden heeft men zich gebaseerd op herinterpretatie van nationale onderzoeksgegevens. Frankrijk, Engeland en Litouwen hebben zich toegelegd op synthese van nationaal onderzoek en Finland, Ierland en Noorwegen hebben (ook) gebruik gemaakt van deskundigenoordeel en uitwisseling met belanghebbenden ('stakeholders'). Denemarken

en Litouwen hebben zich daarnaast ook bediend van literatuur en richtlijnen uit andere landen. Denemarken bleek daarbij ook de lokale kennis over biomassa-oogst betrokken te hebben.

Gebruik richtlijnen in de praktijk
Als laatste observatie melden Stupak *et al*. dat het onduidelijk is in hoeverre de richtlijnen in de betrokken landen daadwerkelijk in de praktijk worden gebracht. In Zweden wordt er op vrijwillige basis over navolging gerapporteerd en in Canada krijgen de richtlijnen een meer formele status door opname in beheerplannen. De aandacht voor harmonisering ('level playing field') en handhaving zal naar verwachting internationaal toenemen in lijn met de toenemende politieke druk voor verduurzaming van de biomassaketens. Dit leidt tot de vraag in hoeverre richtlijnen voor biomassa-oogst nationaal en/of internationaal kunnen en moeten bijdragen aan de verduurzaming van biomassa ketens. Figuur 2 geeft een impressie van mogelijke niveaus en instrumentarium voor handhaving.



Figuur 2 *Conceptueel model voor controle en sancties op verschillende niveaus van beleidsuitvoering. Bron: Stupak et al., 2012.*

2.3 Enkele voorbeelden uit buurlanden

In deze paragraaf worden de richtlijnen ontwikkeld in Vlaanderen, Frankrijk en Engeland nader gekarakteriseerd. Deze komen niet allemaal in het overzicht van Stupak *et al*. (2012) voor.

België (Vlaanderen)
Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) heeft in juni 2012 haar advies aan de Vlaamse Overheid uitgebracht over de ecologische effecten van oogst van exploitatieresten (kromhout, stobben) bij bosexploitatie (Vandekerkhove *et al*., 2012). In dit advies heeft men zich gebogen over de kwantitatieve effecten van verschillende opties, de ecologische gevolgen en de mogelijkheid tot het opstellen van richtlijnen. Voor het opstellen van richtlijnen komen de auteurs tot de volgende conclusies:

1. De exploitatie moet worden vermeden in biologisch zeer waardevolle bossen waar dood hout een zeer belangrijke biotoop vormt.
2. Bij voor bodemverdichting gevoelige bodems dient een extra (gemechaniseerde) werkgang (voor biomassa-oogst) te worden vermeden. In specifieke gevallen, zoals bij bronvegetaties, kan het wel wenselijk zijn kroonhout te verwijderen. Stapelen in de opstand is dan een mogelijk alternatief.

3. De oogst van exploitatieresten kan onder specifieke omstandigheden een optie zijn in bebossingen op zandgronden, valleien en op landbouwgronden. Per situatie moeten de mogelijkheden bekeken worden op basis van:
   a. Het belang van bodemrijping, bijvoorbeeld bij omvorming van naald- naar loofbossen.
   b. Goede kansen worden gezien in grootschalig naaldbosbeheer waarbij de ecologische waarden vooral liggen in de kapvlaktefase. Voorts bieden lichtrijke door naaldhout gedomineerde bossen met een hoog aandeel korstmossen, Ericaceae en topkapselmossen goede en ook bedrijfseconomische mogelijkheden.
   c. Ook worden mogelijkheden gezien voor bossen in deze of de vorige eeuw aangeplant op bemeste landbouwgronden. Hier is weinig gevaar voor snelle bodemuitputting en zijn de ecologische waarden verbonden aan dood hout (nog) beperkt.

De in dit rapport geadviseerde richtlijn is gebaseerd op een combinatie van ecologische en generieke bodemkundige criteria. Deze zijn op landschaps- en/of natuurtype niveau geëvalueerd en als basis voor het advies gebruikt. Hierdoor is deze richtlijn weinig specifiek en wordt er veel nadruk gelegd op maatwerk ter plekke. Daar worden in deze Vlaamse richtlijn ook nog enkele praktische suggesties voor aangedragen.

Engeland

De UK Forestry Standard voorziet in richtlijnen voor biomassa-oogst uit (productie) bossen en energieplantages (Nisbet, 2012). Dit gebeurt op twee niveaus. Ten eerste stelt de standaard algemene eisen gericht op bodem en waterhuishouding. Een aantal hiervan zijn zeer relevant voor intensieve systemen gericht op biomassaproductie en daarvoor nader uitgewerkt in praktijkeisen (GFPR, 'Good Forestry Practice Requirements'). Deze eisen zijn:

1. De kwaliteit van de bosbodem moet in stand blijven of worden verbeterd, zowel fysisch, chemisch als biologisch.
2. De bodemvruchtbaarheid wordt in stand gehouden ten bate van bodemstructuur en producerend vermogen.
3. De bodem wordt beschermd bij werkzaamheden en hersteld in geval van schade.
4. Waar nieuwe (productie)opstanden zijn voorzien wordt het risico op de waterhuishouding in het stroomgebied bepaald en gewogen.

In combinatie met bovenstaande eisen worden zes specifieke maatregelen voorgeschreven voor de reductie van de impact van biomassa-oogst. Enkele voorbeelden daarvan zijn:

1. Het vermijden van intensieve biomassaproductie op voor verzuring gevoelige gronden.
2. Het gebruiken van takken voor bodembescherming bij de oogst en transport door de opstand van stamhout.
3. Het vermijden van de oogst van stobben, behalve waar de risico's aanvaardbaar zijn of dit voor fytosanitaire reden van belang is.

Ten tweede is er advies voor de keuze en selectie van nieuwe productielocaties. Deze bestaan uit richtlijnen gebaseerd op criteria voor regenval, schaal en beschikbaarheid van stikstof in de bodem/ bemesting. Er zijn daarnaast ook twee sets van richtlijnen beschikbaar voor de oogst van resthout respectievelijk stobben. Deze werken volgens een classificatie van risicofactoren zoals gevaar voor bodemdegradatie, beschadiging van grondoppervlakte en verzuring. De drie genoemde criteria geven een cumulatieve score (laag, gemiddeld of hoog). Deze wordt toegekend aan de verschillende bos-bodems /locaties. Elke risico klasse voorziet in een set van mitigerende maatregelen en/of beperkingen voor de oogst.

De richtlijnen zoals beschreven door Nisbet (2012) zijn grotendeels op deskundigenoordeel gebaseerd en hebben daarom een voorlopige status. Er lopen verschillende (monitoring)studies die kunnen bijdragen aan aanscherping en verbetering van het systeem.

Frankrijk

Het Franse systeem zoals weergegeven in de richtlijn ´Connaître et agir´ van het Franse agentschap voor milieu en energie (ADEME, 2006) richt zich voornamelijk op de bodemvruchtbaarheid als waarborg voor stabiele groei en optimale houtproductie. De richtlijnen zijn bedoeld voor het maken

van de juiste keuzes over de oogst van tak- en tophout en zijn bruikbaar voor het opstellen van eenvoudige beheerplannen. De richtlijn onderscheidt drie typen bodems aan de hand van textuur en rijkdom aan nutriënten:

1. Licht gevoelig.
2. Gemiddeld gevoelig.
3. Zeer gevoelig.

Dit gebeurt op basis van (door de beheerder zelf te meten) indicatoren Ph, humustype, textuur en kalkrijkdom. In combinatie met de karakteristieken van de opstand (boomsoort en beheersysteem) geeft het systeem richtlijnen in de vorm van algemene en per soort opstand specifieke adviezen voorde oogst van tak- en tophout:

1. Laag risico. Bijbehorend algemeen advies:
   a. drogen van biomassa, 4 - 6 maanden. In de opstand voordat extractie plaats vindt;
   b. geen extra bemesting.
2. Gemiddeld risico. Advies:
   a. drogen van biomassa, 4 - 6 maanden. In de opstand voordat extractie plaats vindt;
   b. bemesting;
   c. per omloop is slechts eenmaal de oogst van tak- en tophout toegestaan.
3. Hoog risico. Advies:
   a. drogen van biomassa, 4 - 6 maanden. In de opstand voordat extractie plaats vindt;
   b. bemesting tot 1,5 de hoeveelheid die door oogst wordt afgevoerd.

Per bos- en beheer-type worden specifieke richtlijnen toegevoegd die betrekking hebben op:

- Timing: het moment van biomassa oogst (in de totale omloop);
- Erosiegevaar;
- Methode en berekening van benodigde hoeveelheid bemesting per soort opstand;
- Mogelijkheden voor een additionele tweede oogst biomassa (per omloop).

Het Franse agentschap voor milieu en energie (ADEME, 2006) heeft in haar publicatie geen informatie gegeven over de wetenschappelijke basis van deze richtlijn.

2.4 Conclusies

Uit de inventarisatie komt duidelijk naar voren dat in een toenemend aantal landen aan richtlijnen wordt gewerkt. Er zijn enkele landen zoals Zweden, Finland en Engeland die al op meerjarige ervaring kunnen bouwen. Er bestaat een grote variatie tussen de systemen. Landen kunnen veel van elkaar leren en het initiatief van de OECD om de kennis bijeen te brengen en gezamenlijk aan betere methodieken en versterking van de wetenschappelijke methoden te werken lijkt vruchten af te gaan werpen.

De richtlijnen die in West Europa zijn ontwikkeld lijken, op basis van de drie voorbeelden uit België, Frankrijk en Engeland, niet af te wijken van het bovenstaande algemene beeld. Als besloten zou worden het voorbeeld van de andere landen te volgen en richtlijnen te ontwikkelen voor de Nederlandse situatie, dan zou het niet alleen raadzaam zijn de kennis uit de buurlanden te benutten, maar ook om aansluiting te vinden bij het internationale netwerk. Tevens kunnen op basis van de hierboven beschreven internationale ervaringen al een paar aanbevelingen daarvoor gedaan worden. Bij het ontwikkelen van richtlijnen is het ten eerste van essentieel belang dat praktijk- en wetenschappelijke kennis gebundeld worden. Ten tweede is het van belang al bij de opzet van de richtlijnen goed na denken over het toekomstig gebruik, de formele status en het bevorderen van het gebruik ervan in de praktijk. Dit kan namelijk mede bepalend zijn voor ontwerp en uitvoering. Ten derde is het raadzaam monitoring in de vorm van praktijkexperimenten voor verbetering van het adviessysteem over een langere periode te faciliteren. Binnen het kader van deze helpdesk studie is het niet mogelijk geweest meer informatie te verzamelen over de praktische en organisatorische aspecten van het gebruik van de richtlijnen, de schaal en de resultaten. In de workshop is door aanwezigen aanbevolen deze praktijkevaluatie, indien mogelijk, toe te voegen aan de volgende fase van het project.

3 Achtergrond voor richtlijnen op basis van een nutriëntenbalans-benadering

3.1 Inleiding/Opzet

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke factoren en gegevens van belang zijn voor het inschatten van nutriëntenbalansen voor specifieke locaties. De meest toegankelijke gegevens worden alvast op een rij gezet om een indruk te krijgen van wat er beschikbaar is en tot welke resultaten de gegevens leiden. Daarnaast is aangegeven welke gegevens wel beschikbaar zijn, maar verder bewerkt moeten worden en welke gegevens ontbreken en dus meer onderzoek vergen. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van meetgegevens van een groot aantal Europese en Nederlandse bosopstanden en van het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling van het RIVM.

Belang van voedingsstoffenbalans en bodemorganische stof voor bossen
De beschikbaarheid van voedingsstoffen heeft effect op de groeisnelheid van de bomen (houtproductie) en op het ecologisch functioneren van bossen. De belangrijkste voedingsstoffen (macro-elementen) zijn stikstof (N), fosfor (P), kalium (K), calcium (Ca) magnesium (Mg) en zwavel (S). Deze voedingsstoffen zijn van belang voor een goede vitaliteit en groei van bomen. Ze beïnvloeden ook direct de pH van de bodem, die van belang is voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen en bijvoorbeeld aluminium. Daarnaast zijn voor organismen micro-elementen van belang, zoals boor, kopen en mangaan. Daarvan is echter relatief weinig bekend. We richten os daarom hier op de macro-elementen.

Van den Burg en Oosterbaan (1988) geven voor verschillende voedingsstoffen de concentraties in blad aan waarbij groeivertragingen optreden en waarbij bemesting van die voedingsstoffen de bijgroei bevordert. Met name de beschikbaarheid van stikstof is wereldwijd in veel bossen beperkend voor groei, maar verwacht wordt dat deze voedingsstof in Nederlandse bossen voldoende aanwezig is door stikstofdepositie.

De minimale beschikbaarheid van voedingsstoffen is moeilijk te bepalen. De nutriëntenbehoefte wordt veelal bepaald door wat er aan concentraties in verschillende boomdelen wordt aangetroffen. Knecht en Göransson (2004) concluderen dat alle planten voor een optimale groei een vergelijkbare verhouding aan voedingsstoffen in hun blad hebben. Egnell (2013) stelt dat Ca in het algemeen in overmaat door bomen wordt opgenomen en daardoor in verschillende studies als beperkend voor groei wordt aangemerkt. Volgens hem zijn vooral N en P beperkend voor groei. Effecten van andere voedingsstoffen zoals basenkationen op de groeisnelheid en vitaliteit van bomen zouden dan niet moeten worden afgeleid van bladanalyses in relatie tot groei, maar van de correlatie van de beschikbaarheid van voedingsstoffen en de groei of vitaliteit. Die correlaties zijn wel gevonden. Baribault *et al*. (2010) vonden bijvoorbeeld een correlatie tussen de hoeveelheid beschikbare Ca en de bovengrondse productie voor groeiplaatsen met weinig Ca. Wilmot *et al*. (1996) vonden een positief effect van toediening van Ca op de vitaliteit en groei van bomen. Het is echter niet uitgesloten dat het positieve effect van Ca op de groei en vitaliteit niet komt door de directe behoefte van de boom aan die voedingsstof, maar door een andere functie van Ca, bijvoorbeeld in de bodem.

Afvoer van stamhout en tak- en tophout leidt tot een afvoer van daarin aanwezige voor planten en dieren belangrijke voedingsstoffen. Doordat in Nederland stikstof in relatief ruime mate aanwezig is door depositie, kan afvoer van voedingsstoffen de verhouding van stikstof met de andere voedingsstoffen, zoals fosfor en magnesium, in onbalans brengen. Fosfor komt, eenmaal afgevoerd, maar langzaam opnieuw beschikbaar, terwijl stikstof door de depositie relatief snel aangevuld wordt. Iets dergelijks wordt geconstateerd bij heideterreinen, waar bepaalde plantensoorten en vooral grotere insecten in aantal achteruit gaan.

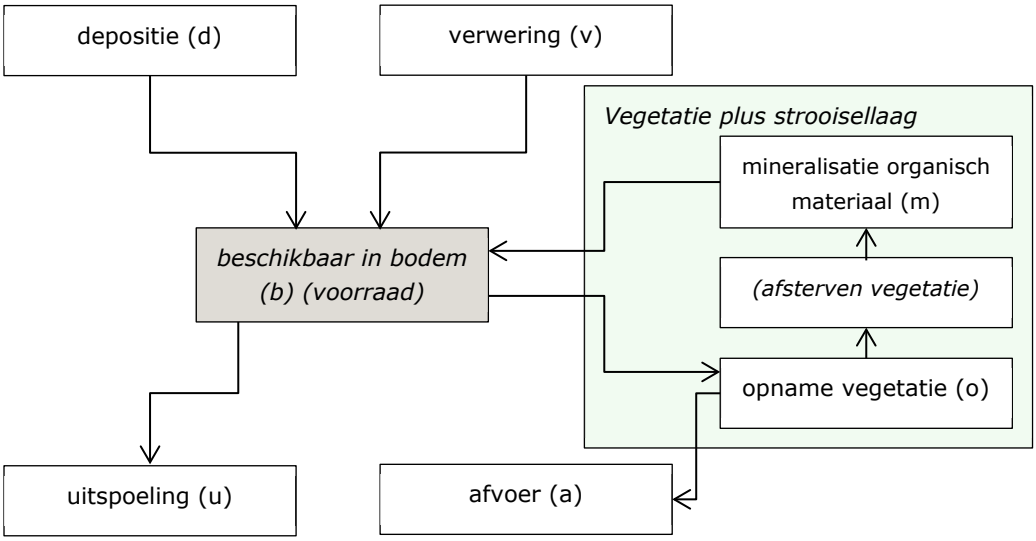
Organische stof in de bodem (veelal aangeduid als hoeveelheid C) heeft voor het functioneren van het bos een veelheid aan functies. Deze vormt een medium waar verschillende organismen in voorkomen

en afhankelijk van zijn. Organische stof is ook voor het functioneren van de bodem van groot belang: deze heeft een gunstige invloed op de capaciteit van de bodem om vocht en voedingsstoffen vast te houden, is gunstig voor de beluchting van de bodem en bevat voedingsstoffen die geleidelijk vrij komen.

Het afvoeren van hout heeft effect op de hoeveelheid organische stof in de bodem, maar het effect is niet eenduidig. Logischerwijze neemt door het oogsten van hout de toevoer van organisch materiaal naar de bodem af en daarmee uiteindelijk de totale hoeveelheid bodemorganische stof. Er zijn echter ook situaties waarbij juist het achterlaten van takhout er voor zorgt dat de bodemorganische stof sneller afbreekt dan zonder takhout, of waarbij op een kale bodem sneller vegetatie ontstaat die organisch materiaal produceert en daarmee de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem aanvult (zie diversen bronnen in De Jong, 2011). Al met al is het effect van houtoogst op de hoeveelheid organische stof in de bodem wisselend en afhankelijk van de lokale situatie.

Nutriëntenbalans

De voor de plantengroei beschikbare voedingsstoffen in de bodem zijn de voedingsstoffen in de bodem die (relatief) gemakkelijk oplosbaar zijn en niet vast liggen in gesteenten. Dit is dus niet gelijk aan de totale hoeveelheid aanwezige voedingsstoffen in de bodem. De voorraad beschikbare voedingsstoffen in een bepaald jaar (t=1) is gelijk aan de voorraad in het voorgaande jaar (t=0) plus de er bij gekomen beschikbare voedingsstoffen middels depositie, mineraalverwering en mineralisatie, min de uitspoeling en opname door vegetatie. Dit is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 *Balanstermen die de verandering van de beschikbaarheid in de bodem bepalen.*

De netto toename van nutriënten in bladeren, naalden en fijne wortels is zeer beperkt vanwege de snelle omloop hiervan middels blad-/naaldval en wortelsterfte, mineralisatie en (onderhouds)opname. De voedingsstoffen die in stam- en takhout en grove wortels worden vastgelegd komen in langere cycli vrij. In feite heeft er de laatste decennia in het Nederlandse bos een toename van de houtvoorraad plaatsgehad, waarbij voedingsstoffen in het hout zijn vastgelegd, ten koste van de beschikbaarheid ervan in de bodem. Deze voedingsstoffen blijven dan wel aanwezig in het lokaal aanwezige systeem. Als er afvoer van hout/biomassa uit het bos plaatsvindt, is het verschil in opname en vrijkomen uit vegetatie gelijk aan de afvoer (netto opname). Daarvoor gebruiken we het onderstaande vereenvoudigde schema, ofwel in formule:

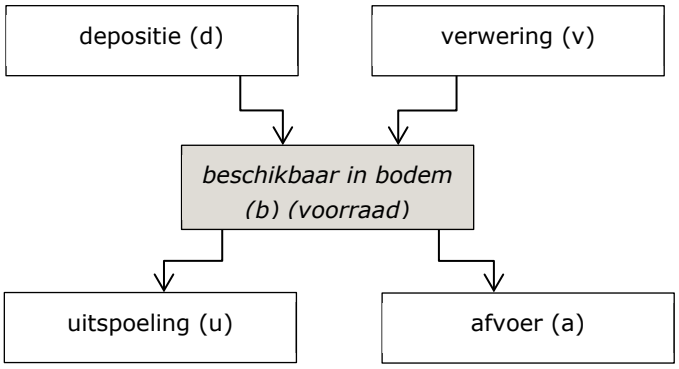
$$b_{t=1} = b_{t=0} + d + v - u - a$$

met:

$b_{t=0}$ als de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen bij aanvang
$b_{t=1}$ als de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen na een jaar
d als de jaarlijkse depositie
v als de jaarlijkse verwering
u als de jaarlijkse uitspoeling
a als de afvoer door oogst

Daaruit kan de maximale afvoer door oogst berekend worden, bijvoorbeeld als de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen niet af mag nemen:

als $b_{t=1} > b_{t=0}$ dan $a < d + v - u$



Figuur 4 *Vereenvoudigde weergave van balanstermen die de verandering van de beschikbaarheid in de bodem bepalen.*

De componenten depositie, verwering, afvoer en uitspoeling zijn variabel en worden voornamelijk beïnvloed door de boomsoort, de bodem (bodemtype), de grondwaterstand, het klimaat en de luchtkwaliteit, maar ook door het bosbeheer (bijvoorbeeld dunning, eindvelling, oogsten tak- en tophout). In Tabel 3 wordt aangegeven welke factoren invloed hebben op deze componenten van het schema van de voedingsstoffenbalans.

Tabel 3
Beïnvloedende factoren op de balanstermen voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen.

Balansterm	Boomsoort	Bodem	Grondwaterstand	Klimaat	Luchtkwaliteit
Depositie	x			x	x
Verwering		x		x	x
Afvoer	x	x	x	x	
Uitspoeling	x	x	x	x	x

De boomsoort heeft effect op de invang van depositie, maar ook op de hoeveelheid voedingsstoffen die wordt opgenomen en zo ook op wat wordt afgevoerd bij oogst. Uitspoeling wordt beïnvloed door de boomsoortensamenstelling. Soorten die relatief veel Ca en Mg opnemen putten de (diepere) minerale bodem uit en verrijken de strooisel- en humuslaag met Ca en Mg. Soorten die relatief weinig voedingsstoffen opnemen produceren zure humus en arm strooisel (Alban, 1982). Daardoor kan de uitspoeling van mineralen onder dennen hoger zijn dan onder eiken (Johnson en Todd, 1987). Kaalkap kan de uitspoeling versterken doordat er minder interceptie van regen is en bomen ontbreken om voedingsstoffen op te nemen (Palviainen *et al.*, 2004).

De eigenschappen van de bodem hebben grote invloed op de hoeveelheid voedingsstoffen die door verwering vrijkomen. De bodem bepaalt mede de groei van bomen en daarmee de afvoer. Onder andere verwering en de capaciteit om voedingsstoffen vast te houden bepalen voorts de mate van uitspoeling van voedingsstoffen.

De grondwaterstand heeft vooral invloed op de afvoer via het effect dat deze heeft op de groei van bomen. De grondwaterstand beïnvloedt ook de uitspoeling doordat deze de waterafvoer beïnvloedt en daarmee ook de nutriëntenafvoer.

Het klimaat heeft invloed op de hoeveelheid depositie, onder meer via de hoeveelheid neerslag. Maar de neerslag en de temperatuur bepalen ook mede de snelheid van verwering, de afvoer (via de invloed op de groei van bomen) en de uitspoeling.

De luchtkwaliteit (concentraties of blootstelling aan/depositie van CO_2 [bemesting], ozon [toxisch], stikstof en basen en zuren) ten slotte beïnvloedt de hoeveelheid depositie, en via de depositie ook de verwering. Beide hebben daarnaast ook weer invloed op de mate waarin voedingsstoffen uitspoelen.

Bij het opstellen van een adviessysteem voor (de intensiteit van) houtoogst zullen deze factoren in beschouwing genomen moeten worden, waarbij uiteindelijk geadviseerd wordt over de balansterm afvoer, rekening houdend met de voorraad en de overige balanstermen. De factoren boomsoort, bodem, en grondwaterstand zullen als locatie-specifieke variabele input kunnen dienen. De factoren klimaat en luchtkwaliteit kunnen in de toekomst veranderen, maar kunnen als basis voor het adviessysteem als - voorlopig - constant beschouwd worden, waarbij beide echter wel per regio (kunnen) verschillen. Het is van belang te weten in hoeverre het adviessysteem robuust is voor veranderingen van klimaat en luchtkwaliteit. Met andere woorden, in hoeverre zouden de uitkomsten veranderen indien er rekening gehouden wordt met verandering van klimaat en luchtkwaliteit?

3.2 Uitwerking mineralenbalansen

In paragraaf 3.1 is aangegeven dat N, P, K, Ca, Mg en S de voor bomen belangrijkste voedingsstoffen zijn waar we ons op richten. N en S zijn in het algemeen meer dan voldoende beschikbaar, en uitputting daarvan wordt niet verwacht. Het adviessysteem richt zich daarom op de voedingsstoffen P, K, Ca en Mg. Hieronder wordt aangegeven wat er voor Nederlandse bossen bekend is aan beschikbare voorraden en verschillende balanstermen, te weten:

- Beschikbare voorraden (Ca, Mg en K uitwisselbaar; P oxalaat extraheerbaar).
- Depositie van mineralen.
- Vrijkomen van mineralen door verwering voor verschillende bodemtypen.
- Afvoer.
- Uitspoeling.

Bij alle aspecten wordt ingegaan op de orde van grootte (en in geval van depositie op trends in de tijd en variatie in de ruimte) en waar mogelijk op de effecten van boomsoort, grondsoort (bodemtype) en grondwaterstand op verwering, afvoer bij oogst en uitspoeling

3.2.1 Beschikbare en totale bodemvoorraden

De beschikbare voorraad voedingstoffen in de bodem is hier gedefinieerd als het totaal aan voedings-stoffen in de strooisel(humus)laag en de uitwisselbare voorraad in de minerale doorwortelbare laag.

Er is steeds gerekend met een doorwortelbare laag van één meter. Van enkele gegevensbronnen is de hoeveelheid voedingsstoffen aangegeven per decimeter bodemlaag, per 30 cm of per 70 cm. In die gevallen is waar mogelijk een extrapolatie gemaakt, er van uitgaand dat de hoeveelheid gelijk is over één meter diepte. In werkelijkheid zijn er natuurlijk verschillen in hoeveelheden voedingsstoffen op verschillende diepten, maar deze zijn relatief klein en er is geen duidelijk verband tussen de hoeveel-

heid en diepte (Klap *et al.*, 1999). Voor zandgronden is de voorraad voor een diepte van 30 cm aangegeven.

Voor löss-, veen- en kleigronden zijn inschattingen gemaakt van de hoeveelheden K, Ca en Mg, omdat in eerste instantie alleen het totaal van die kation in de literatuurbronnen is aangegeven. Daarbij is gebruik gemaakt van de verhoudingen tussen de verschillende basenkationen in een ander bodem. Bewerking van de originele data kan de informatie over de verschillende basenkationen beter inzichtelijk maken.

Zandgronden

In de Tabellen 4 en 5 zijn zowel de koolstofvoorraden als de uitwisselbare voorraden voedingsstoffen voor zandgronden weergegeven. De gegevens zijn afkomstig van 150 bosopstanden op zandgronden en bieden een basis voor een indeling naar arme tot rijke zandgronden en de beschikbaarheid van voedingsstoffen.

In de zandgronden is de humuslaag een belangrijke bron van uitwisselbare voedingsstoffen. in de humuslaag zitten veelal meer voedingsstoffen dan in de bovenste 30 cm van de minerale laag van de bodem. De mediaan van totale voorraad voedingsstoffen in de humuslaag en de uitwisselbare voedingsstoffen in de bovenste 30 cm van minerale laag is voor K 95 kg^1ha^{-1}, voor Ca 267 kg^1ha^{-1} en 63 kg^1ha^{-1} voor Mg.

Tabel 4

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van voorraad aan koolstof en voedingsstoffen in de humuslaag van zandgronden (De Vries, en Leeters, 2001). Voor Ca, Mg en K is tussen haakjes tevens de uitwitwisselbare voorraad vermeld.

Statistiek	Voorraad voedingsstoffen en C ($kg.ha^{-1}$)					
	C	N	P	K	Ca	Mg
minimum	5459	247	15	13 (9)	32 (20)	7,6 (4)
5-percentiel	11478	469	22	28 (18)	77 (52)	14 (8)
50-percentiel	36833	1430	51	65 (43)	185 (146)	39 (22)
95-percentiel	67112	2549	96	173 (90)	376 (260)	91 (49)
maximum	89835	3061	141	648 (172)	600 (580)	183 (95)

Tabel 5

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van voedingsstoffen in de minerale bovengrond (0 - 30 cm) van zandgronden (op basis van De Vries, en Leeters, 2001). Voor C, N en P is het een totaal hoeveelheid en voor Ca, Mg en K de uitwitwisselbare voorraad.

Statistiek	Voorraad voedingsstoffen en C ($kg.ha^{-1}$)					
	Totaal			Beschikbaar		
	C	N	P	K	Ca	Mg
Minimum	8683	576	100	9	-	7
5-percentiel	15828	942	182	13	12	11
50-percentiel	70625	3144	362	30	82	24
95-percentiel	131374	6874	1530	96	900	116
Maximum	246524	9486	4473	150	3.360	460

Lössgronden

De hoeveelheid uitwisselbare kationen in de humuslaag van löss is klein in vergelijking met die van zandgronden, doordat de totale massa van de humuslaag op deze bodems kleiner is door een snellere omzetting van organische stof.

Voor de minerale laag van lössgronden is een inschatting van hoeveelheid uitwisselbare kationen voor K, Ca en Mg gemaakt op basis van de totaal uitwisselbare hoeveelheid van deze kationen (Klap *et al*., 1999) en de verhouding van deze kationen in de minerale laag van zand (22% voor K, 60% voor Ca,

18% voor Mg). Voor C, N en P is de totale voorraad in de minerale laag weergegeven. Zie de Tabellen 6 en 7.

Tabel 6

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van de totaal voorraad voedingsstoffen in de humuslaag van lössgronden (Klap et al., 1999).

Statistiek	Voorraad voedingsstoffen en C (kg.ha^{-1})					
	C	N	P	K	Ca	Mg
Minimum	937	44	3,3	40	66	22
5-percentiel	1.097	53	3,4	45	74	23
50-percentiel	11.660	579	33	82	152	40
95-percentiel	37.731	1.593	106	139	738	86
Maximum	55.328	2.312	117	164	779	90

Tabel 7

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van de voorraad voedingsstoffen in de minerale laag van lössgronden (0-100cm). Voor C, N en P is het een totaal hoeveelheid en voor Ca, Mg en K de uitwitwisselbare voorraad. Indicatie kationen op basis van totaal kationen (Klap et al., 1999) en de verhouding van kationen in de minerale laag van zand (22% voor K, 60% voor Ca, 18% voor Mg).

Statistiek	Voorraad voedingsstoffen en C (kg.ha^{-1})					
	totaal			Beschikbaar		
	C	N	P	K	Ca	Mg
Minimum	48.000	5.000	1.400	118	324	95
5-percentiel	63.000	6.800	1.600	127	348	102
50-percentiel	114.000	14.000	4.900	526	1.438	421
95-percentiel	222.000	33.000	11.000	9.645	26.364	7.716
Maximum	330.000	47.000	15.000	13.942	38.108	11.154

Veengronden

Voor veengronden is een indicatie gegeven van de totale voorraad kationen in de minerale veenlaag. De hoeveelheid kationen in de humuslaag is zeer klein in vergelijking met die van zandgronden, doordat de totale massa van de humuslaag op deze bodems kleiner is en vaak ontbreekt door een snellere omzetting van organische stof.

Een eerste inschatting van de mediaan van uitwisselbare voedingsstoffen voor de humuslaag en de minerale laag samen is voor K ongeveer 1.000 kg^{1}ha^{-1}, voor Ca 2.700 kg^{1}ha^{-1}, en voor Mg 900 kg^{1}ha^{-1}. Zie de Tabellen 8 en 9.

Tabel 8

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van voorraad voedingsstoffen in de humuslaag van veengronden (Klap et al., 1999).

Statistiek	Voorraad (kg.ha^{-1})					
	C	N	P	K	Ca	Mg
Minimum	0	0	0	15	41	15
5-percentiel	0	0	0	17	51	17
50-percentiel	12.093	642	24	24	97	24
95-percentiel	39.281	2.150	61	41	146	38
Maximum	40.452	2.263	98	46	149	38

Tabel 9

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van voorraad voedingstoffen in de minerale laag (0 - 100 cm) van veengronden op basis van Klap et al.(1999).

Statistiek	Voorraad voedingsstoffen en C (kg.ha^{-1})					
	C	N	P	K	Ca	Mg
Minimum	470.000	17.000	300	391	1.500	538
5-percentiel	550.000	18.000	300	440	1.793	587
50-percentiel	720.000	22.000	900	929	2.608	880
95-percentiel	780.000	52.000	2.800	7.172	10.106	3.912
Maximum	780.000	55.000	4.000	7.172	29.340	4.238

Kleigronden

Van kleigronden is alleen een indicatie gegeven van de totale (C, N, P) respectievelijk uitwisselbare (kationen) voorraad voedingsstoffen in de minerale laag, omdat een humuslaag door snelle omzetting doorgaans ontbreekt. Van de hoeveelheid uitwisselbare kationen is een inschatting voor K, Ca en Mg gemaakt op basis van de totaal uitwisselbare hoeveelheid van deze kationen (Klap *et al.*, 1999) en de verhouding van deze kationen in de minerale laag van zand (22% voor K, 60% voor Ca, 18% voor Mg). Die verhouding wijkt overigens niet veel van de verhouding van de medianen van de totale voorraad (resp. 63%, 14% en 23% in Klap *et al.*, 1999). Van C, N en P is de totale voorraad weergegeven.

Een eerste indicatie van de mediaan van uitwisselbare voedingsstoffen is voor K ongeveer 16.000 kg^{1}ha^{-1}, voor Ca 43.000 kg^{1}ha^{-1} en voor Mg 13.000 kg^{1}ha^{-1}. Die beschikbaarheid is daarmee tientallen keren hoger dan op zandgronden (zie Tabel 10).

Tabel 10

Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielen van uitwisselbare voedingsstoffen in de minerale laag (0-100 cm) van kleigronden. Voor C, N en P is het een totaal hoeveelheid en voor Ca, Mg en K de uitwitwisselbare voorraad. Indicatie kationen op basis van totaal kationen (Klap et al., 1999) en de verhouding van kationen in de minerale laag van zand (22% voor K, 60% voor Ca, 18% voor Mg).

Statistiek	Voorraad voedingsstoffen (kg.ha^{-1})					
	Totaal			Beschikbaar		
	C	N	P	K	Ca	Mg
Minimum	140.000	11.000	4.400	3.507	9.587	2.806
5-percentiel	150.000	16.000	6.300	3.683	10.066	2.946
50-percentiel	260.000	27.000	8.400	16.003	43.741	12.802
95-percentiel	450.000	40.000	19.000	21.922	59.919	17.537
Maximum	930.000	41.000	28.000	22.185	60.638	17.748

3.2.2 Depositie

De totale depositie kan worden verdeeld in natte en droge depositie. De natte depositie bestaat uit elementen die zijn opgelost in regenwater en is mede afhankelijk van de hoeveelheid neerslag. Droge depositie kent een sterk ruimtelijk aspect en is mede afhankelijk van de begroeiing (ruwheid). De droge depositie is voor groenblijvende boomsoorten hoger dan voor bladverliezende soorten (De Vries, 1994). De totale depositie kan worden bepaald uit de natte depositie die wordt vermenigvuldigd met een factor voor invang van droge depositie. Die factor is afhankelijk van de mate waarin vegetaties droge depositie invangen.

Het RIVM monitort de luchtkwaliteit via het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Dat meetnet is in 1973 opgezet en omvat een wisselend aantal meetstations (58 per 2007). Dit meetnet meet vooral gasvormige stoffen, fijn stof en metalen. Onderdeel van het meetnet is het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling. Dat meetnet bestond van 1992 - 2004 uit vijftien en sinds 2005 uit elf vaste meetlocaties. Het meetnet geeft gegevens over natte depositie van onder andere basenkationen en N.

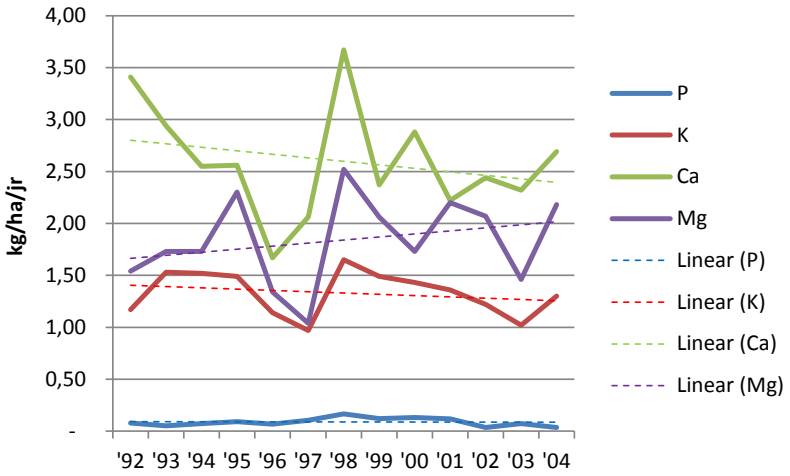
Het meetnet van het RIVM geeft voor P depositiewaarden (natte depositie) van 0,04 tot 0,17 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Begin jaren '90 werden waarden van < 0,1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ gemeten, die opliepen tot 0,17 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ aan het einde van de vorige eeuw, en weer afnamen tot 0,04 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ in 2004. Andere bronnen geven hogere waarden: Meinardi en Van den Berg (2008) geven een gemiddelde waarde van 0,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, terwijl Witte *et al*. (2006) uitgaan van 0,26 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ langs de kust.

Voor K heeft het RIVM depositiewaarden van circa 1 tot 1,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ natte depositie gemeten. Er blijkt een licht dalende trend in de waarnemingen voor te komen. Boschloo en Stolk (1998) berekenen gemiddeld over meerdere locaties in Nederland een natte depositie van 0,8 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en dat komt neer op een totale depositie van 1,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Andere bronnen geven een depositie van K van 1,1 - 3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ (Draaijers *et al.*, 1996; Boschloo *et al.*, 1998; De Vries, 1994; De Vries en Jansen, 1994; Leeters *et al.*, 1994).

Voor Ca heeft het RIVM waarden van grofweg 2 tot 3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ natte depositie gemeten, met enkele uitschieters naar boven en naar beneden. De trend is licht dalend. Boschloo en Stolk (1998) berekenen gemiddeld over meerdere locaties in Nederland een depositie van ongeveer 2 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en dit komt neer een totale depositie van gemiddeld op circa 6 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. De gemiddelde depositie van Ca bedraagt begin jaren 1990 volgens Hedin *et al.* (1994) circa 6 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. De Vries en Jansen (1994) geven aan dat depositie van Ca het hoogste is nabij de kust (door zeemineralen) en in Zuid-Limburg (door de kalkbodems). Leeters *et al.* (1994) noemen depositiewaarden tot circa 11 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$.

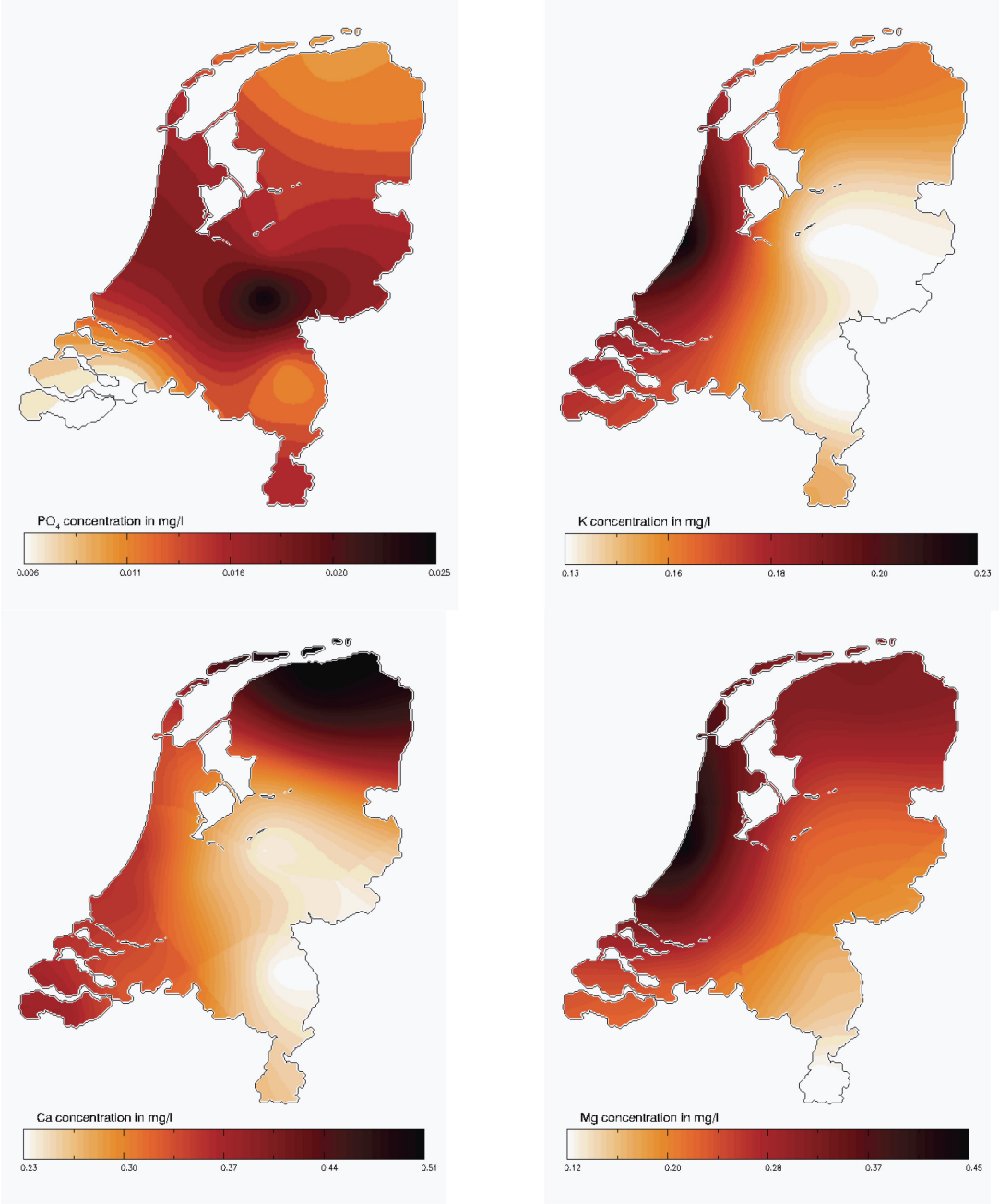
Het RIVM heeft voor Mg-waarden van 1 tot 2,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ natte depositie gemeten. De depositie van Mg laat een stijgende trend zien. Boschloo en Stolk (1998) berekenen een natte depositie van 0,8 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, gemiddeld over meerdere locaties in Nederland, dit komt overeen met een totale depositie van 1,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. In andere bronnen wordt een depositie van Mg van circa 1,5 - 5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ aangegeven (Draaijers *et al.*, 1996; Boschloo *et al.*, 1998; De Vries, 1994; De Vries en Jansen, 1994; Leeters *et al.*, 1994).

Figuur 5 toont het verloop van de waarden over de periode 1992 - 2004.



Figuur 5 *Verloop van de natte depositie in de tijd, gemiddeld over dertien jaar voor meetstations van het RIVM, en de trends daar van (lineair) (Van der Swaluw et al., 2010).*

De depositie verschilt tussen regio's. In Figuur 6 is de gemiddelde concentratie van vier voedingsstoffen weergegeven voor Nederland. Daaruit blijkt dat de depositie van P relatief hoog is in het midden van het land en laag is in Zeeland en het Noorden. De deposities van K en Mg zijn relatief hoog in het kustgebied en laag in Limburg, terwijl de depositie van Ca relatief hoog is in het Noorden, en laag in het midden van het land en in Limburg. Die gegevens kunnen, in combinatie met de trend in depositieniveaus gebruikt worden om lokale schattingen van de depositie te maken.



Figuur 6 *Concentraties fosfaat (links boven), kalium (rechts boven), calcium (links onder) en magnesium (rechts onder) in regenwater in Nederland (jaar niet bekend) (Van der Swaluw et al., 2010).*

3.2.3 Verwering

Door verwering van minerale delen van de bodem komen vooral metaalionen vrij (Ca, Mg, K, Na, Fe, Al en Mn) en in mindere mate P. De vrijkomende hoeveelheden variëren sterk, afhankelijk van het moedermateriaal (Mahendrappa *et al.*, 1986). Maar ook factoren, zoals bodemtemperatuur, vocht, mate van contact tussen mineralen en water en contactoppervlak van mineralen hebben invloed en die factoren kunnen worden beïnvloed door oogstactiviteiten (Zabowski *et al.*, 1994). Het is daarom niet mogelijk algemene waarden aan te geven voor verweringssnelheden.

Verweringssnelheden zijn moeilijk exact te bepalen. Methoden die worden gebruikt zijn o.a. door een mineralenbalans op te stellen (waarbij verwering de sluitpost is). Daarbij kan uitspoeling bepaald worden door de concentraties en flux van grondwater te bepalen, of door een stroomgebied van een beek/rivier in beschouwing te nemen en de hoeveelheid afvoer van die beek/rivier te bepalen.

Daarnaast wordt ook gebruik gemaakt van modelmatige benaderingen. Klaminder *et al.* (2011) vergelijken enkele regelmatig toegepaste methoden en kwamen tot de conclusie dat de resultaten varieerden, en dat de verschillen relatief groot zijn ten opzichte van de hoeveelheden voedingsstoffen (Ca en K) die met houtoogst worden afgevoerd. Hierdoor is de onzekerheid groot.

Bij Alterra zijn bodemchemische modellen (o.a. het model SMART) ontwikkeld die de verwering voor verschillende grondsoorten, vooral zandgronden, berekenen. Voor de voedingsstoffenbalansen zijn de gegevens daarvan niet direct beschikbaar, maar de modellen kunnen voor dat doel gebruikt worden. In het onderstaande zijn gegevens van verwering uit de literatuur weergegeven om een indruk te krijgen van ordes van grootten van verwering .

Fosfor
Van fosfaatverwering is in het algemeen heel weinig bekend. Newman (1995) geeft op basis van een literatuurreview een range van 0,01-1,0 kg ha^{-1} jr^{-1} waarbij de data voor Europese sites in de range van 0,04–0,2 kg ha^{-1} jr^{-1} liggen.

Kalium
Van de Salm *et al.* (1997) geven voor drie locaties met dekzanden in Nederland gemiddeld een verweringssnelheid van 2,6 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$ voor K, variërend van 1,7 tot 3,3 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$. Op rijkere leemhoudende gronden in Zweden werden tot twee maal hogere verweringssnelheden aangegeven, tot 5,1 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$.

Calcium
In Nederland kan op kalkrijke gronden door natuurlijke verwering jaarlijks 150 - 300 kg Ca per hectare per jaar vrijkomen. Op kalkarme gronden (diverse haar- veld- en holtpodzolen) komen slechts enkele kilogrammen Ca per hectare per jaar vrij (Breeuwsma en De Vries, 1984). Juist op dergelijke bodems zijn veel van de Nederlandse bossen gelegen. Van de Salm *et al.* (1997) geven voor drie locaties met dekzanden in Nederland gemiddeld een verweringssnelheid van 0,5 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$ voor Ca, variërend van 0,4 tot 0,7 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$. Op rijkere gronden in Zweden werden gemiddeld ca. 10 maal hogere verweringssnelheden gevonden, en in Denemarken zelfs 33 keer hoger (17,6 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$).

Magnesium
Van de Salm *et al.* (1997) geven voor drie locaties met dekzanden in Nederland gemiddeld een verweringssnelheid van 0,5 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$ voor Mg, variërend van 0,2 tot 0,9 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$. In Zweden en Denemarken werden gemiddeld bijna negen maal hogere verwerkingssnelheden gevonden, variërend van 0,4 tot 4,1 $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$.

Tabel 11
Voorbeeld van verwering van verschillende basenkationen op zes verschillende locaties, naar Van der Salm et al. (1999).

Bodem	Verwering ($kg.ha^{-1}jr^{-1}$)		
	Ca	Mg	K
Leemhoudende zandgrond	2,6	2,1	5,1
Leemhoudende zandgrond	1,3	0,5	1,3
Leemhoudende zandgrond	4,2	1,6	5,1
Gemiddeld leemhoudende zandgrond	**2,9**	**0,9**	**3,4**
Droge podzol	0,2	0,4	3,3
Droge podzol	0,4	0,2	2,7
Vochtige podzol	0,2	0,1	1,7
Gemiddeld arme zandgrond	**0,5**	**0,5**	**2,6**

Verdeling van verwering over grondsoorten
Verweringsnelheden van de som van Ca, Mg, K en Na in Nederlandse zandgronden variëren tussen ca. 100 en 700 mol ha^{-1} jr^{-1} (De Vries en Breeuwsma, 1986; Van Breemen *et al.*, 1986; Mulder *et al.*,

1988). Op basis van experimenteel onderzoek schatten Van der Salm *et al.* (1998) dat de verwerings-nelheden van lössgronden en (rivier) kleigronden gemiddeld circa 4 tot 40 maal zo hoog zijn dan van zandgronden bij een gelijke zuurgraad (pH). Op basis van verschillen in zuurgraad schatten zij de verwering in lössgronden tussen ca. 260 - 1850 mol_c ha^{-1} jr^{-1} en van (rivier) klei-gronden tussen 760 -5300 mol ha^{-1} jr^{-1}. Tabel 11 toont voorbeelden van verwering van basenkationen Ca, Mg en K op verschillende soorten bodems.

3.2.4 Afvoer

De afvoer van voedingsstoffen door houtoogst kan worden bepaald door vermenigvuldiging van de hoeveelheid hout met de concentratie aan voedingsstoffen daarin. De bovengrondse biomassa van bomen wordt in de literatuur veelal verdeeld over de stam, de takken en blad of naalden. De grens tussen takken en stam wordt doorgaans gelegd bij een diameter van ca. 7 tot 13 cm. Ondergrondse delen bestaan uit de stobbe en grove en fijne wortels. Deze blijven in deze studie buiten beschouwing omdat in de Nederlandse bossen stobben en wortels alleen in uitzonderlijke situaties geoogst worden en de voedingsstoffen die er in vastgelegd worden dus in het systeem blijven. De verhouding tussen de hoeveelheid biomassa in de boomcomponenten varieert met de leeftijd van de bomen of opstand. Met het toenemen van de leeftijd neemt het aandeel stamhout toe, terwijl het aandeel blad / naalden en in de eerste jaren het aandeel takken afnemen. De verhouding takhout/stamhout is na verloop van tijd min of meer constant. In absolute termen blijft de hoeveelheid blad / naalden vanaf 20 jaar min of meer constant.

De afvoer (kg/ha/jr) wordt uiteindelijk berekend uit het gemiddelde oogstniveau over omloop (m^3/ha/jr) maal dichtheid van het hout (kg/m^3) maal element gehalte (kg/kg).

Oogstniveau
De maximale oogst van de bovengrondse biomassa door oogst wordt bepaald door de bijgroei. De gemiddelde bijgroei wordt bepaald door de groeiplaats. Belangrijke factoren voor groei zijn vooral het klimaat, de beschikbaarheid van voedingsstoffen, de zuurgraad, de vochtvoorziening en de ontwateringstoestand. In het algemeen is de groei van bomen op klei, leem, rijke zandgrond (met leem) en löss goed tot zeer goed, en is die op veengrond matig en op arme zandgrond slecht. Hoge en erg lage grondwaterstanden zijn verder ongunstig door respectievelijk de beperking van de wortelgroei en volume aan bodem (minder verweerbaar materiaal) en de vochtleverantie. Maar bij lage grondwaterstanden kan een goed vochtleverend bodemmateriaal (bijvoorbeeld leem) veel compenseren.

De oogst, en daarmee het afvoeren van voedingsstoffen uit het systeem, gebeurt met onregelmatige intervallen en kan op verschillende manieren gebeuren, dat eveneens invloed heeft op de bijgroei. In geval van bos waarin mede biomassa voor houtchips wordt geoogst kan het gaan om eerste dunningen met oogst van hele bomen, latere dunningen met oogst van alleen stamhout en een eindvelling met oogst van stamhout en takhout. Om een balans van voedingsstoffen in te schatten, gaan we daarom uit van de afvoer over een hele omloop. Daarbij is de lengte van de omloop van belang, omdat die mede de gemiddelde bijgroei per jaar en de frequentie van de verschillende oogsten bepaalt.

De gemiddelde bijgroei van het Nederlandse bos wordt geschat op 8 $m^3ha^{-1}jr^{-1}$. De verschillen tussen boomsoorten en groeiplaatsen zijn echter groot. Bij het bepalen van de afvoer van voedingsstoffen op een specifieke plek is het daarom van belang de relatie tussen de groeiplaatsomstandigheden, boomsoorten en bijgroei te kennen, of goede gegevens over de bijgroei ter plaatse te hebben. Zie ook Tabel 12.

Tabel 12

Bandbreedte en gemiddelde van bijgroei voor verschillende boomsoorten, grove den (gd), Corsicaanse den (cd), Douglas (dg), fijnspar (fs), zomereik (ze) en beuk (bu), in volgens enkele bronnen, in $m^3ha^{-1}jr^{-1}$.

Soort	Gemiddelde groei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)					
	Schatting diverse groeiplaatsen (1)			Opbrengsttabellen (2)		Bosstatistiek (3)
	Laag	Middel	Hoog	Van	Tot	Gemiddeld
gd	3,1	5,5	7,1	4,0	12,0	6,8
cd	5,0	7,6	10,6	4,0	14,0	
dg	6,6	11,1	14,7	8,0	16,0	13,1
fs	5,0	8,9	13,6	6,0	16,0	
ze	4,0	6,0	8,0	3,0	9,0	7,1
bu	3,0	5,0	7,0	4,0	12,0	12,8

(1) De vries en Hol *et al.*, 1990.

(2) Jansen *et al.*, 1996.

(3) Overleggroep Houtvoorziening en Houtproduktie (1991).

Dichtheden van hout

De dichtheid van hout verschilt tussen boomsoorten, maar kan binnen een boomsoort ook variëren. De Vries *et al.* (1990) geven, gebaseerd op Heilig (1981) voor verschillende houtsoorten bijvoorbeeld een range aan dichtheden. Een indicatie van de dichtheden van verschillende houtsoorten is weergegeven in Tabel 13.

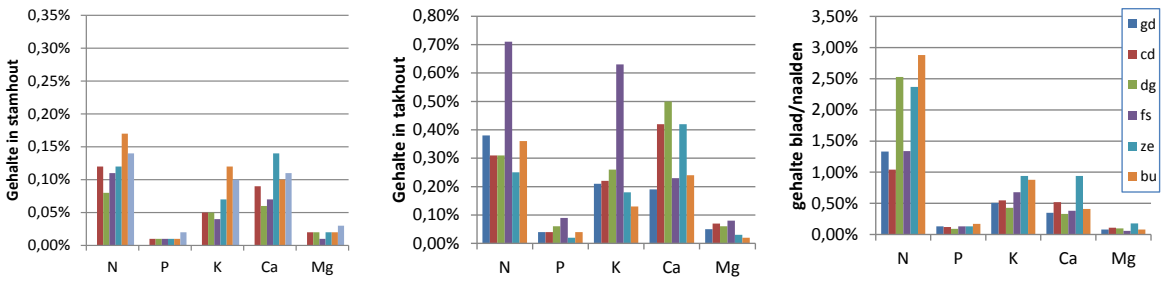
Tabel 13

Dichtheden van verschillende houtsoorten, grove den (gd), Corsicaanse den (cd), Douglas (dg), fijnspar (fs), zomereik (ze) en beuk (bu) (De Vries et al., 1990, gebaseerd op Heilig, 1981).

Soort	kg/m³
gd	510
cd	510
dg	530
fs	460
ze	700
bu	700

Concentratie voedingsstoffen

De concentratie voedingsstoffen varieert per boomcomponent. Blad en naalden bevatten de hoogste concentraties voedingsstoffen, stamhout de laagste, en takhout zit daar tussen in. In de onderstaande figuren is een indicatie gegeven van de concentraties van voedingsstoffen in de verschillende bovengrondse boomdelen. Zie Figuur 7.



Figuur 7 *Gehalten aan voedingsstoffen in stamhout (links) en takhout (midden) en blad / naalden (rechts) voor de soorten grove den (gd), Corsicaanse den (cd), Douglas (dg), fijnspar (fs), zomereik (ze) en beuk (bu), naar De Vries et al. (1990) en De Vries (1994).*

De concentraties voedingsstoffen worden tot op zekere hoogte mede bepaald door de beschikbaarheid (van uitwisselbare voedingsstoffen) ervan in de bodem (zie bijvoorbeeld Minocha *et al.*, 2010). Bij een geringe beschikbaarheid er van is de concentratie lager dan bij een ruimere beschikbaarheid. Dat zou er voor pleiten om in het adviessysteem afhankelijk van de bodemsoort te rekenen met verschillende concentraties. De Vries *et al.* (1990) geven voor verschillende combinaties van boomsoorten en voedingsstoffen ranges aan van concentraties voedingsstoffen. Er zijn gegevens beschikbaar van concentraties voedingsstoffen in blad, maar die zijn maar beperkt gerelateerd aan gehalten in de bodem met uitzondering van de strooisellaag. Wel zijn vooral de stikstof-gegevens gekoppeld aan het atmosferische stikstofdepositieniveau.

Op basis van oogstvolumes, dichtheden van hout en concentraties voedingsstoffen kan berekend worden hoeveel voedingsstoffen er bij een gegeven oogst afgevoerd worden. In Tabel 14 is een voorbeeld gegeven van de afvoer bij de oogst van de totale bijgroei bij verschillende groeisnelheden (afhankelijk van de groeiplaats) voor verschillende boomcomponenten. Tabel 15 laat daarnaast zien wat de afvoer is bij alleen de eindvelling bij een omloop van 75 jaar, voor verschillende boomsoorten en groeisnelheden. Als ook de afvoer door dunning wordt meegenomen, betekent dat een ruime verdubbeling van de afvoer van de cijfers in de tabel. Tabel 16 ten slotte laat zien wat die afvoer gemiddeld per hectare per jaar is bij alleen eindvelling.

Vooralsnog is in die berekeningen uitgegaan van gelijke concentraties voedingsstoffen per combinatie van boomsoort en boomcomponent, maar op basis van aanvullende gegevens zou de concentratie voor de slechtere groeiplaatsen lager en voor de betere groeiplaatsen hoger kunnen worden.

Tabel 14

Afvoer van voedingsstoffen, weergegeven gemiddeld over de hele omloop van 75 jaar, in kg^{1}ha^{-1}jr^{-1} bij dunning en eindvelling voor de soorten grove den (gd), Corsicaanse den (cd), Douglas (dg), fijnspar (fs), zomereik (ze) en beuk (bu), berekend op basis van De Vries et al. (1990) en De Vries (1994). De eindvelling betreft 50% van de bijgroei van stamhout. Er is gerekend met de oogst van de volledige bijgroei volgens De Vries en Hol et al. (1990), zie Tabel 14.

Component	Boomsoort	Bijgroei (m^{3}ha^{-1}jr^{-1})			Voedingsstof (kg^{1}ha^{-1}jr^{-1})														
					N			P			K			Ca			Mg		
		Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot
Stamhout	gd	4	8	12	2,4	4,9	7,3	0,2	0,4	0,6	1,0	2,0	3,1	1,8	3,7	5,5	0,4	0,8	1,2
	cd	4	9	14	1,6	3,7	5,7	0,2	0,5	0,7	1,0	2,3	3,6	1,2	2,8	4,3	0,4	0,9	1,4
	dg	8	12	16	4,7	7,0	9,3	0,4	0,6	0,8	1,7	2,5	3,4	3,0	4,5	5,9	0,4	0,6	0,8
	fs	6	11	16	3,3	6,1	8,8	0,3	0,5	0,7	1,9	3,5	5,2	3,9	7,1	10,3	0,6	1,0	1,5
	ze	3	6	9	3,6	7,1	10,7	0,2	0,4	0,6	2,5	5,0	7,6	2,1	4,2	6,3	0,4	0,8	1,3
	bu	4	8	12	3,9	7,8	11,8	0,6	1,1	1,7	2,8	5,6	8,4	3,1	6,2	9,2	0,8	1,7	2,5
	Gemiddeld	**4**	**8**	**12**	**3,3**	**6,1**	**8,9**	**0,3**	**0,6**	**0,9**	**1,8**	**3,5**	**5,2**	**2,5**	**4,7**	**6,9**	**0,5**	**1,0**	**1,5**
Takhout	gd				1,2	2,3	3,5	0,1	0,2	0,4	0,6	1,3	1,9	0,6	1,2	1,7	0,2	0,3	0,5
	cd				1,8	4,1	6,4	0,2	0,5	0,8	1,3	2,9	4,6	2,5	5,6	8,7	0,4	0,9	1,4
	dg				1,4	2,2	2,9	0,3	0,4	0,6	1,2	1,8	2,4	2,3	3,5	4,7	0,3	0,4	0,6
	fs				2,7	5,0	7,3	0,3	0,6	0,9	2,4	4,5	6,5	0,9	1,6	2,4	0,3	0,6	0,8
	ze				1,8	3,6	5,4	0,1	0,3	0,4	1,3	2,6	3,9	3,0	6,0	9,0	0,2	0,4	0,6
	bu				2,7	5,4	8,2	0,3	0,6	0,9	1,0	2,0	2,9	1,8	3,6	5,4	0,2	0,3	0,5
	Gemiddeld				**1,9**	**3,8**	**5,6**	**0,2**	**0,5**	**0,7**	**1,3**	**2,5**	**3,7**	**1,9**	**3,6**	**5,3**	**0,3**	**0,5**	**0,7**
Blad/naald	gd				2,9	2,9	2,9	0,3	0,3	0,3	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2
	cd				2,2	2,2	2,2	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2
	dg				8,1	8,1	8,1	0,3	0,3	0,3	1,4	1,4	1,4	1,1	1,1	1,1	0,3	0,3	0,3
	fs				6,5	6,5	6,5	0,6	0,6	0,6	3,3	3,3	3,3	1,9	1,9	1,9	0,3	0,3	0,3
	ze				2,3	2,3	2,3	0,1	0,1	0,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,2	0,2	0,2
	bu				2,4	2,4	2,4	0,1	0,1	0,1	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1
	Gemiddeld				**4,1**	**4,1**	**4,1**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**1,4**	**1,4**	**1,4**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**0,2**	**0,2**	**0,2**
Totaal	gd				6,5	10,1	13,7	0,6	0,9	1,3	2,8	4,4	6,1	3,2	5,6	8,0	0,7	1,3	1,9
	cd				5,7	10,0	14,3	0,7	1,2	1,8	3,5	6,4	9,3	4,8	9,4	14,1	1,1	2,1	3,1
	dg				14,2	17,2	20,3	1,0	1,3	1,7	4,3	5,7	7,2	6,4	9,0	11,7	1,0	1,4	1,7
	fs				12,6	17,6	22,7	1,3	1,8	2,3	7,7	11,3	15,0	6,6	10,6	14,5	1,2	1,9	2,6
	ze				7,7	13,0	18,4	0,5	0,8	1,2	4,7	8,5	12,3	6,0	11,1	16,2	0,8	1,4	2,1
	bu				9,1	15,7	22,3	1,0	1,9	2,7	4,5	8,3	12,1	5,2	10,1	15,0	1,1	2,0	3,0
	Gemiddeld				**9,3**	**13,9**	**18,6**	**0,8**	**1,3**	**1,8**	**4,6**	**7,5**	**10,3**	**5,4**	**9,3**	**13,3**	**1,0**	**1,7**	**2,4**

Tabel 15

Afvoer van voedingsstoffen, bij eindvelling na een omloop van 75 jaar, in kg^1ha^{-1} voor de soorten grove den (gd), Corsicaanse den (cd), Douglas (dg), fijnspar (fs), zomereik (ze) en beuk (bu), berekend op bais van De Vries et al. (1990) en De Vries (1994). De eindvelling betreft 50% van de bijgroei van stamhout. Er is gerekend met de oogst van de volledige bijgroei volgens De Vries en Hol et al. (1990), zie Tabel 14.

Component	Boomsoort	Bijgroei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)			Voedingsstof (kg^1ha^{-1})														
					N			P			K			Ca			Mg		
		Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot
Stamhout	gd	4	8	12	92	184	275	8	15	23	38	77	115	69	138	207	15	31	46
	cd	4	9	14	61	138	214	8	17	27	38	86	134	46	103	161	15	34	54
	dg	8	12	16	175	262	350	16	24	32	64	95	127	111	167	223	16	24	32
	fs	6	11	16	124	228	331	10	19	28	72	133	193	145	266	386	21	38	55
	ze	3	6	9	134	268	402	8	16	24	95	189	284	79	158	236	16	32	47
	bu	4	8	12	147	294	441	21	42	63	105	210	315	116	231	347	32	63	95
	Gemiddeld	**4**	**8**	**12**	**122**	**229**	**336**	**12**	**22**	**33**	**69**	**132**	**195**	**94**	**177**	**260**	**19**	**37**	**55**
Takhout	gd				44	87	131	5	9	14	24	48	72	22	44	65	6	11	17
	cd				69	155	241	9	20	31	49	110	171	93	210	326	16	35	54
	dg				54	81	108	10	16	21	45	68	91	87	131	175	10	16	21
	fs				103	189	274	13	24	35	91	167	243	33	61	89	12	21	31
	ze				67	134	201	5	11	16	48	96	145	112	225	337	8	16	24
	bu				102	204	306	11	23	34	37	74	111	68	136	204	6	11	17
	Gemiddeld				**73**	**142**	**210**	**9**	**17**	**25**	**49**	**94**	**139**	**69**	**134**	**199**	**10**	**18**	**27**
Blad/naald	gd				99	99	99	10	10	10	38	38	38	26	26	26	6	6	6
	cd				75	75	75	9	9	9	40	40	40	38	38	38	8	8	8
	dg				275	275	275	10	10	10	47	47	47	36	36	36	11	11	11
	fs				222	222	222	22	22	22	113	113	113	63	63	63	10	10	10
	ze				78	78	78	4	4	4	31	31	31	31	31	31	6	6	6
	bu				82	82	82	5	5	5	25	25	25	12	12	12	2	2	2
	Gemiddeld				**139**	**139**	**139**	**10**	**10**	**10**	**49**	**49**	**49**	**34**	**34**	**34**	**7**	**7**	**7**
Totaal	gd				235	370	506	22	34	46	100	163	225	117	207	298	27	48	69
	cd				205	368	530	25	46	67	127	236	344	177	351	524	39	77	116
	dg				504	618	733	36	49	63	156	210	265	235	334	433	37	50	64
	fs				450	639	828	45	64	84	277	413	550	241	390	538	42	69	96
	ze				279	480	681	18	31	44	174	317	459	222	414	605	30	54	77
	bu				331	580	830	37	70	102	167	309	451	195	379	562	39	77	114
	Gemiddeld				**334**	**509**	**684**	**31**	**49**	**68**	**167**	**275**	**382**	**198**	**346**	**494**	**36**	**63**	**89**

Tabel 16

Afvoer van voedingsstoffen, bij eindvelling na een omloop van 75 jaar, in $kg^1ha^{-1}jr^{-1}$ voor de soorten grove den (gd), Corsicaanse den (cd), Douglas (dg), fijnspar (fs), zomereik (ze) en beuk (bu), berekend op basis van De Vries et al. (1990) en De Vries (1994). De eindvelling betreft 50% van de bijgroei van stamhout. Er is gerekend met de oogst van de volledige bijgroei volgens De Vries en Hol et al. (1990), zie Tabel 14.

Component	Boomsoort	Bijgroei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)			Voedingsstof ($kg^1ha^{-1}jr^{-1}$)														
					N			P			K			Ca			Mg		
		Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot	Van	Mid.	Tot
Stamhout	gd	4	8	12	1,2	2,4	3,7	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	0,9	1,8	2,8	0,2	0,4	0,6
	cd	4	9	14	0,8	1,8	2,9	0,1	0,2	0,4	0,5	1,1	1,8	0,6	1,4	2,1	0,2	0,5	0,7
	dg	8	12	16	2,3	3,5	4,7	0,2	0,3	0,4	0,8	1,3	1,7	1,5	2,2	3,0	0,2	0,3	0,4
	fs	6	11	16	1,7	3,0	4,4	0,1	0,3	0,4	1,0	1,8	2,6	1,9	3,5	5,2	0,3	0,5	0,7
	ze	3	6	9	1,8	3,6	5,4	0,1	0,2	0,3	1,3	2,5	3,8	1,1	2,1	3,2	0,2	0,4	0,6
	bu	4	8	12	2,0	3,9	5,9	0,3	0,6	0,8	1,4	2,8	4,2	1,5	3,1	4,6	0,4	0,8	1,3
	Gemiddeld	**4**	**8**	**12**	**1,6**	**3,1**	**4,5**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,9**	**1,8**	**2,6**	**1,3**	**2,4**	**3,5**	**0,3**	**0,5**	**0,7**
Takhout	gd				0,6	1,2	1,7	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,2	0,2
	cd				0,9	2,1	3,2	0,1	0,3	0,4	0,7	1,5	2,3	1,2	2,8	4,3	0,2	0,5	0,7
	dg				0,7	1,1	1,4	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	1,2	1,2	1,7	2,3	0,1	0,2	0,3
	fs				1,4	2,5	3,7	0,2	0,3	0,5	1,2	2,2	3,2	0,4	0,8	1,2	0,2	0,3	0,4
	ze				0,9	1,8	2,7	0,1	0,1	0,2	0,6	1,3	1,9	1,5	3,0	4,5	0,1	0,2	0,3
	bu				1,4	2,7	4,1	0,2	0,3	0,5	0,5	1,0	1,5	0,9	1,8	2,7	0,1	0,2	0,2
	Gemiddeld				**1,0**	**1,9**	**2,8**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,7**	**1,3**	**1,9**	**0,9**	**1,8**	**2,7**	**0,1**	**0,2**	**0,4**
Blad/naald	gd				1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1
	cd				1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
	dg				3,7	3,7	3,7	0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
	fs				3,0	3,0	3,0	0,3	0,3	0,3	1,5	1,5	1,5	0,8	0,8	0,8	0,1	0,1	0,1
	ze				1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1
	bu				1,1	1,1	1,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
	Gemiddeld				**1,8**	**1,8**	**1,8**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**0,1**	**0,1**	**0,1**
Totaal	gd				3,1	4,9	6,7	0,3	0,5	0,6	1,3	2,2	3,0	1,6	2,8	4,0	0,4	0,6	0,9
	cd				2,7	4,9	7,1	0,3	0,6	0,9	1,7	3,1	4,6	2,4	4,7	7,0	0,5	1,0	1,5
	dg				6,7	8,2	9,8	0,5	0,7	0,8	2,1	2,8	3,5	3,1	4,5	5,8	0,5	0,7	0,8
	fs				6,0	8,5	11,0	0,6	0,9	1,1	3,7	5,5	7,3	3,2	5,2	7,2	0,6	0,9	1,3
	ze				3,7	6,4	9,1	0,2	0,4	0,6	2,3	4,2	6,1	3,0	5,5	8,1	0,4	0,7	1,0
	bu				4,4	7,7	11,1	0,5	0,9	1,4	2,2	4,1	6,0	2,6	5,1	7,5	0,5	1,0	1,5
	Gemiddeld				**4,5**	**6,8**	**9,1**	**0,4**	**0,7**	**0,9**	**2,2**	**3,7**	**5,1**	**2,6**	**4,6**	**6,6**	**0,5**	**0,8**	**1,2**

3.2.5 Uitspoeling

Uitspoeling van voedingsstoffen kan een belangrijke component zijn van de balans van voedingsstoffen. Uitspoeling is feitelijk een restterm die volgt uit de toevoer in depositie en verwering en de afvoer door opname in het geval de bodem in evenwicht is voor een voedingsstof. De hoeveelheid uitspoeling wordt bepaald door het neerslagoverschot vermenigvuldigd met de concentraties aan voedingsstoffen. Het neerslagoverschot wordt beïnvloed door de boomsoorten en de jaarlijkse neerslag, die verschilt per regio. De gemiddelde jaarlijkse neerslag per regio is bekend van gegevens van het RIVM. Rijtema en de Vries (1994) geven voor naald- respectievelijk. loofboomsoorten het neerslagoverschot bij verschillende hoeveelheden neerslag (zie Tabel 17).

Tabel 17

Neerslagoverschot (mm/jr) voor loof- en naaldbos bij verschillende hoeveelheden neerslag (Rijtema en De Vries, 1994).

Bostype	Neerslag (jaarlijks)		
	600 mm	800 mm	1000 mm
Naaldbos	80	190	300
Loofbos	170	300	430

Federer *et al.* (1989) wijzen er op dat over een periode van 120 jaar uitspoeling van Ca is toegenomen door zure depositie versterkt door de mens - een belangrijke factor is voor het verdwijnen van Ca uit een bossysteem. Het tempo van uitspoeling van voedingsstoffen is sterk locatieafhankelijk. Zo neemt de uitspoeling van Ca toe naarmate de beschikbaarheid ervan hoger is (Johnson en Todd, 1987). Uitspoeling kan dan ook niet los gezien worden van andere balanstermen. Zo kan een hoge depositie de uitspoeling vergroten en kan opname door vegetatie de uitspoeling beperken.

Berekeningen van de voedingsstoffenbalansen voor 150 Nederlandse boslocaties laten zien dat de uitspoeling van Ca en Mg in ongeveer een derde tot een kwart van de gevallen groter is dan de depositie. Voor K is de uitspoeling vrijwel steeds groter dan de depositie (De Vries en Jansen, 1994). De uitspoeling van N bedroeg 12 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, maar de variatie was aanzienlijk, namelijk van 5 - 28 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, maar is steeds aanzienlijk lager dan de depositie. In diverse bronnen (Mann *et al.*, 1998; Swank *et al.*, 2001; Yanai, 1998; Alban, 1982) wordt uitspoeling van P als zeer laag aangegeven, ook in verhouding tot de afvoer via houtoogst.

De Vries *et al.* (2007) geven schattingen van invoer-uitvoerbalansen van basen voor 121 Europese bosopstanden. Als mediane waarde voor alle opstanden vonden zij dat ca. 75% van de depositie uitspoelt, maar de verschillen tussen de opstanden waren groot. De uitspoeling onder loofbossen (eiken en beuken) was beduiden hoger dan onder naaldbossen (dennen en sparren), maar dit is deels ook vanwege de rijkere gronden waarop loofbomen staan, met als gevolg een grotere verwering en dus meer uitspoeling.

Gegevens over uitspoeling van N, S en basenkationen zijn beschikbaar van verschillende bossen en bodems, maar dienen voor toepassing voor oogstrichtlijnen verder bewerkt te worden.

Een lastig punt is echter de relatie tussen het al dan niet afvoeren van hout en de uitspoeling van voedingsstoffen. Het achterlaten van takhout kan tot een verhoogde beschikbaarheid van voedingsstoffen leiden, wat grotere uitspoeling tot gevolg kan hebben. Wat het exacte effect van oogst en oogstmethode hierop is, is nog niet goed bekend.

3.3 Resumé

Voor een goede inschatting van de voedingsstoffenbalansen per locatie zijn al verschillende gegevens beschikbaar. In de voorgaande paragrafen is daarvan een indruk gegeven. Voor enkele gegevens dient een verwerking van bestaande gegevens uitgevoerd te worden of dient nader onderzoek uitgevoerd te worden.

Van de voorraden is een redelijke inschatting van de meeste voedingsstoffen te maken. Van de kationen is in eerste instantie alleen een grove inschatting gemaakt voor veen, löss en kleibodems, maar nauwkeurigere gegevens zijn beschikbaar. De voorraden van P moeten nog uitgewerkt worden op basis van bestaande gegevens. Een belangrijke stap is daarnaast het koppelen van de gegevens aan algemeen bruikbare classificatie-eenheden, bijvoorbeeld bepaalde bodemtypen (arm of rijk zand) al dan niet in combinatie met vegetatiekenmerken.

Van de depositie zijn goede gegevens naar locatie beschikbaar van het RIVM. Een verdere verbetering is het koppelen van de hoeveelheid depositie (invang) aan de boskenmerken (boomsoort). Hiervoor zijn al redelijke gegevens beschikbaar.

Van verwering zijn voor de basenkationen indicatieve gegevens beschikbaar per bodemsoort. Voor P waren die gegevens nog niet beschikbaar, maar die kunnen worden toegevoegd, al vergt dat iets meer onderzoek. Voor verwering zijn binnen Wageningen UR modellen beschikbaar.

Van de afvoer door oogst zijn goede inschattingen te maken op basis van hoeveelheden hout die worden afgevoerd en de concentraties voedingsstoffen in de verschillende boomcomponenten. De berekeningen kunnen echter verbeterd worden door de concentraties in boomcomponenten afhankelijk te maken van de (beschikbaarheid van voedingsstoffen in de) bodem.

Voor de groei is het verder ook relevant om op basis van de bodemkenmerken een goede inschatting te maken van de bijgroei. Om de oogst van takhout goed in te schatten is het verder relevant om na te gaan of de verhouding stamhout / tak- en tophout verbeterd kan worden, bijvoorbeeld door die afhankelijk te maken van de leeftijden of diameters van de bomen.

Van uitspoeling zijn indicatieve gegevens beschikbaar. Uitspoeling is voor een belangrijk deel een resultante van de voorgaande balanstermen. Dat maakt het moeilijk om er concrete uitspraken over te doen. Wel is bekend dat de uitspoeling van bijvoorbeeld P uit bosbodems erg klein is.

De hoeveelheden beschikbare voedingsstoffen (P, K, Ca en Mg) zijn op zandgronden gemiddeld aanzienlijk lager dan op veen, löss- of kleigronden. De helft van de zandgronden heeft minder dan (afgerond) 500 kg Ca, 150 kg K en 100 kg Mg per hectare, terwijl dat op de andere bodems vier keer of meer is. Dat zijn hoeveelheden die bij matige groei bij oogst van de volledige bijgroei, inclusief stamhout en blad/naalden, in een rotatie ruim wordt afgevoerd. Op de rijkere gronden is de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen al snel vier tot vele malen groter dan die voor de armere zandgronden.

Het is voor de armere zandgronden van belang dat de voegingsstoffen weer worden aangevuld door depositie en verwering, liefst tot een niveau van minimaal de hoeveelheid die gemiddeld jaarlijks wordt afgevoerd, zodat de beschikbaarheid van voedingsstoffen op peil blijft. Die afvoer is bij een matige groei bij dunning en eindvelling van de bijgroei voor K ± 3,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, voor Ca ± 5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en voor Mg ± 1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Oogst van takhout met blad / de naalden leidt in veel gevallen tot een verdubbeling van de afvoer tot voor K ± 7,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, voor Ca ± 9,3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en voor Mg ± 1,7 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Daarnaast is er nog verlies van voedingsstoffen door uitspoeling. Deze is echter lager naarmate er minder voedingsstoffen beschikbaar zijn.

Veel zandgronden kunnen een dergelijke afvoer niet compenseren met voedingsstoffen uit depositie en verwering. De depositie van K bedraagt bijvoorbeeld 1 tot 3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en de verwering levert een vergelijkbare hoeveelheid. Voor Ca is de depositie ongeveer 6 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, maar deze is juist in het

bosrijke oosten van Nederland beduidend lager, terwijl de verwering veelal slechts minder dan 1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ levert.

Het is daarom van belang uit te zoeken bij welke combinaties van bodems, regio's en beheer de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen af kan gaan nemen en wat daarvan de gevolgen van kunnen zijn, en hoe daar het beste mee omgegaan kan worden.

4 Aanzet voor adviessysteem

4.1 Bepalen van de geadviseerde afvoer

In het voorgaande hoofdstuk is aangegeven dat de voorraad beschikbare voedingsstoffen kan worden berekend met de mineralenbalans. Daarmee kan berekend worden hoeveel er geoogst kan worden, binnen bepaalde voorwaarden voor de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen in de bodem.

De hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen die men in de bodem wenst, of een afgeleide daarvan (effect op groei of ecologisch functioneren) is een beleidskeuze. Zonder kennis van deze beleidskeuze is niet voor ieder bosperceel en eigendomssituatie aan te geven wat goed of gewenst is en wat niet.

Een advies over de maximale hoeveelheid te oogsten hout kan gegeven worden op basis van verschillende uitgangspunten:

a) De beschikbaarheid van voedingsstoffen mag niet afnemen. Voor de rijke bodems is deze regel wellicht te rigide. Het lijkt een goede aanname voor de armste bodems, maar voor die bodems zou de wens ook kunnen bestaan dat de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen toeneemt, en dat oost die toename niet in de weg mag staan.
b) De beschikbaarheid van voedingsstoffen mag niet onder een bepaalde grens komen. Die ondergrens is echter moeilijk te bepalen. Als voor rijkere gronden eenzelfde ondergrens wordt aangehouden, dan zal bij het bereiken van die ondergrens al een aanzienlijk effect op de groei en het ecologisch functioneren opgetreden kunnen zijn. Aan de andere kant: de rijkere gronden hebben dergelijk grote hoeveelheiden beschikbare voedingsstoffen, dat zonder duidelijk effect langere tijd voedingsstoffen afgevoerd kunnen worden.
c) De afvoer mag maximaal een bepaald effect hebben op de bijgroei (houtproductie-functie). Er is nog relatief weinig bekend over hoe de beschikbaarheid van voedingsstoffen de groei van bomen beïnvloed.
d) de hoeveelheid organische stof (totaal C) ....
e) Anders, namelijk .....

Aanzet van een classificatie (zonering), te weten onderscheid in combinaties van (geclusterde):

- Regio’s (in verband met klimaat en luchtkwaliteit/depositie).
- Bodems (bijvoorbeeld zand rijk, matig rijk zand, zand arm, löss, klei en veen).
- Kwaliteit van de humus.
- Boomsoorten (bijvoorbeeld apart of clustering op basis van geschatte intervallen aan afvoer).

Het bovenstaande is gebaseerd op de resultaten gegeven onder 3.2.1: hoe te clusteren.

Regio's

Er kan een indeling gemaakt worden in regio's met een gelijkwaardige depositie (op basis van klimaat en luchtkwaliteit). Het is voor iedere locatie relatief eenvoudig vast te stellen tot welke regio het behoort door goed kaartmateriaal beschikbaar te maken.
De voorgestelde regio's zijn:

- Kustregio (Noord- en Zuid-Holland, eventueel Zeeland apart).
- Noordoost (Groningen - Friesland).
- Midden- en zuidoost (Gelderland, Limburg, Oost-Brabant, Overijssel, Utrecht).
- Rest (midden Brabant, Drenthe, Flevoland).

Bodems
Voor de bodems is het van belang dat een indeling wordt toegepast die eenvoudig hanteerbaar is. De basisgegevens kunnen gedetailleerd zijn (bijvoorbeeld bodemtypen van de bodemkaart), maar voor een praktische toepassing kan het beter zijn om bodems te clusteren, bijvoorbeeld op basis van de textuur en rijkdom van het moedermateriaal. Dat kan verder worden onderverdeeld naar de oorsprong van het moedermateriaal.

- Zand.
  - Arm zand (grof, leem-arm).
  - Matig rijk.
  - Rijk zand (fijn, leem-houdend).
- Leem / Löss.
- Klei.
  - Zeeklei.
  - Rivierklei.
- Veen.

Er kan een verdere onderverdeling gemaakt worden naar grondwatertrappen. Ook kan de spontane vegetatie een rol spelen.

Boomsoorten
De boomsoortensamenstelling is een in het veld eenvoudig te bepalen kenmerk. Voor de meest relevante boomsoorten kan de groei op basis van de groeiplaats ingeschat worden.
De concentratie voedingsstoffen is voor de meest relevante boomsoorten eveneens in te schatten, hoewel het verband tussen concentraties en groeiplaats aandacht vergt.

Uitwerking
De volgende adviserende Tabel 18 kan uitgewerkt worden:

Tabel 18
Voorbeeld van een tabel die, eenmaal ingevuld, gebruikt kan worden als richtlijn voor de maximale hoeveelheid af te voeren hout.

Regio	Bodem (bodemsoort en GWT)	Boomsoort(en)	Maximale afvoer takhout

4.2 Toepassing adviessysteem

Welke mitigerende maatregelen zijn noodzakelijk in welke situatie (combinatie van regio, bodem en boomsoort). Deze informatie volgt uit 3.2.1 en 3.2.2.

4.3 Omissies, onzekerheden en benodigde aanvullende kennis

Voor de uitwerking van het beoogde adviessysteem is een groot aantal gegevens nodig. Een groot deel van die gegevens zijn reeds beschikbaar. Voor een deel moeten gegevens nog voor het beoogde doel geanalyseerd worden, en in enkele gevallen is aanvullend onderzoek nodig. In Tabel 19 is een overzicht van de status van de gegevens weergegeven.

Tabel 19

Overzicht van beschikbare en ontbrekende gegevens. + = beschikbaar/goed; (+) = beschikbaar te maken (redelijk tot goed); (0) = beschikbaar te maken (redelijk); (-) = literatuur: zwak; - = n.v.t.; Alles met (+) en (0) vereist nader onderzoek.

Flux term	Relevante data	Methode/ Databron	Bepalende factoren	Status				
				N	P	Ca	Mg	K
Voorraad	Bodemanalyses Nederlandse bosopstanden	Literatuur	Grondsoort	+	(+)	+	+	+
Depositie	Natte depositie	RIVM	Regio	+	+	+	+	+
	Droge depositie	metingen Nederlandse locaties	Boomsoort	(0)	(0)	(+)	(+)	(+)
Verwering	Totaalgehalten in bodem	Model en experiment	Grondsoort	-	(-)	(+)	(+)	(+)
Houtafvoer	Groeisnelheid	Groei-inventarisaties Literatuur	Boomsoort Grondsoort Vochtleverantie[1]	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	Houtdichtheid	Vademecum	Boomsoort	+	+	+	+	+
	Elementgehalten	Literatuur	Boomsoort Grondsoort N en S depositie	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Uitspoeling	Elementbalansen waterbalans	Literatuur; ICP forests	Boomsoort Grondsoort Regio	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

5 Aanzet voor het meenemen van overige effecten van de oogst van biomassa in het adviessysteem

De oogst van biomassa in het bos kan effecten hebben op het functioneren van het bos.
In de voorgaande hoofdstukken staat vooral de voedingsstoffenbalans centraal. Er spelen echter ook andere functies en aspecten een rol. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de bodemstructuur en de biodiversiteit. De aspecten koolstofbalans, recreatie en cultuurhistorie zijn ook van belang, maar spelen naar de inschatting van de onderzoekers een ondergeschikte rol bij de ontwikkeling van een adviessysteem voor biomassaoogst uit bossen.

5.1 Bodemstructuur

Het uitvoeren van oogstwerkzaamheden en het transport van hout en biomassa kunnen effect hebben op de bodemstructuur. Ampoorter *et al.* (2010) maken onderscheid tussen bodemverwonding, bodemverdichting en spoorvorming. Bodemverwonding is het omwoelen van de bovenste bodemlagen, bijvoorbeeld bij het uitslepen van het hout.

Bodemverdichting treedt op bij het werken met zwaardere machines en het uitrijden van het hout. Hierdoor wordt de bodem samengedrukt en verandert de porositeit van de bodem. Hiermee samenhangend veranderen ook hydrologische karakteristieken, zoals het watervasthoudend vermogen en de doorstroming van water naar de ondergrond. Verder kan de samenstelling van de bodemlucht hierdoor in ongunstige zin veranderen, doordat CO_2 minder gemakkelijk wordt afgevoerd en er ook zuurstoftekorten kunnen optreden.

Bodemverdichting gaat steeds gepaard met een bepaalde mate van spoorvorming.

Negatieve effecten op de bodemstructuur worden verminderd door zoveel mogelijk de werkzaamheden uit te voeren op of vanaf (onverharde) boswegen of in het perceel te concentreren op vaste (steeds de zelfde) uitrijpaden, en niet ongecontroleerd door de opstanden te rijden.

Gespecialiseerde bosbouwapparatuur heeft vaak voorzieningen die de bodemdruk verminderen, zoals meedraaiende assen die de torsiekrachten op de bodem verminderen. Verder kan gebruik gemaakt worden van lagedrukbanden of nog beter rupsbanden (Vermeulen en Verwijs, 2007). De Jong *et al.* (2007) hebben onderzoek uitgevoerd naar de bodemschade bij het werken met harvesters in Nederland op luchtbanden en op rupsbanden. Bij het werken met zware harvesters was de bodemschade bij het werken met rupsbanden duidelijk minder dan bij het werken met zware machines op luchtbanden. Overigens was de schade bij het werken met een relatief lichte harvester op luchtbanden van dezelfde orde als die van een zware harvester op rupsbanden.

Voor voertuigen die ook op verharde wegen rijden zijn er mogelijkheden om deze uit te rusten met een banddrukregelsysteem. Hierdoor kan de banddruk worden aangepast, al naar gelang het voertuig op verhard of onverhard terrein rijdt. Dit is vooral geschikt voor vrachtwagens voor houttransport en speelt minder voor de bodemstructuur in het perceel (Vermeulen en Verwijs, 2009). Door te werken met helikopters of kabelbanen kan de bodemdruk worden geminimaliseerd, maar deze technieken worden in Nederland niet of nauwelijks toegepast.

Het werken met paarden om hout uit te slepen is een andere mogelijkheid om de bodemschade te verminderen, maar vooral uit oogpunt van kostenefficiëntie wordt deze methode steeds minder ingezet.

Soms wordt in naaldbossen tak- en tophout uitgespreid op de uitrijpaden om de bodemdruk deels mee op te vangen. Als het tak- en tophout wordt geoogst ligt deze mitigerende maatregel minder voor de hand, omdat hierdoor meestal veel gronddeeltjes vermengd worden met dit tak- en tophout. Dit is voor de meeste toepassingen ongewenst.

5.2 Biodiversiteit

Nederland zou zonder de aanwezigheid van de mens voor een groot deel bedekt zijn met een bos-vegetatie (zomergroene loofbossen en gemengd naald-loofbos, alsmede in de lage delen van Nederland moeras- en veenbos en een estuariene vegetatie). Begin 19^{e} eeuw was bijna al het bos verdwenen, maar sinds die tijd zijn er weer nieuwe bossen aangeplant, zodat Nederland nu beschikt over een areaal van ca. 360.000 ha bos. Veel van dit bos is jong bos. Van 340 ha bos staat vast dat dit ook voor 1800 bos was. Ongeveer 41.000 ha bos was ook bos voor 1900 (Daamen, 2008). In deze relatief oude bossen zijn de mogelijkheden voor specifieke biodiversiteit horende bij bossen het grootst.

Veel van de huidige bossen zijn de afgelopen eeuw aangeplant en meestal als productiebos beheerd. Een meerderheid van de bossen is ongemengd (dat wil zeggen één overwegende boomsoort). Dirkse *et al.* (2007) geven aan dat 21% ongemengd loofbos is, 32% ongemengd naaldbos en 43% gemengd bos. In de laatste decennia van de vorige eeuw heeft de natuurfunctie meer aandacht gekregen in het beheer, maar desondanks is het beheer voor die functie in grote delen van het bos niet optimaal geweest.

Bijlsma *et al.* (2009) geven aan dat de natuurkwaliteit van bossen vooral bepaald wordt door de aanwezigheid van verschillende ontwikkelingsfasen, de ligging ten opzichte van andere natuurtypen en de aanwezigheid van dood hout. De Jong *et al.* (2012) pleiten voor het zoneren van functies in het bos waarbij delen met oud bos fungeren als refugia. Op veel jongere heide-, stuifzand- en polderbossen kan de oogst van biomassa zodanig worden uitgevoerd dat de positieve effecten op biodiversiteit opwegen tegen de negatieve effecten. Toepassing van geïntegreerd bosbeheer in deze bossen sinds de jaren negentig heeft in veel gevallen wel geleid tot verbetering, maar niet tot optimale hoeveelheden dood hout, mengboomsoorten, dikke bomen en een heterogene structuur. Extra oogst kan in deze bossen zodanig worden uitgevoerd dat de positieve effecten opwegen tegen de negatieve effecten op de biodiversiteit.

De terreinbeheerders hebben samen met het Interprovinciaal Overleg (IPO) en het toenmalige ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselvoorziening bij de natuur 17 natuurtypen onderscheiden met een onderverdeling naar in totaal 47 beheertypen (Schipper en Siebel, 2009). Er zijn vier natuurtypen onderscheiden voor bossen:

- Vochtige bossen (N14).
  - Rivier- en beekgeleidend bos (N14.01).
  - Hoog- en laagveenbos (N14.02).
  - Haagbeuken- en essenbos (N14.03).
- Droge bossen (N15).
  - Duinbos (N15.01).
  - Dennen-, eiken- en beukenbos (N15.02).
- Bossen met productiefunctie (N16).
  - Droog bos met productie (N16.01).
  - Vochtig bos met productie (N16.02).
- Cultuurhistorische bossen (N17).
  - Vochtig hakhout en middenbos (N17.01).
  - Droog hakhout (N17.02).
  - Park- en stinzenbos (N17.03).
  - Eendenkooi (N17.04).

De Jong *et al.* (2012) hebben in een quick-scan bekeken in welke natuurtypen biomassa kan worden benut zonder schade toe te brengen. Zij hebben in beschouwing genomen de beheertypen die elk

meer dan 1% van de totale biomassaproductie uit bos en natuur voor hun rekening namen. Van de bostypen zijn dit:

- Rivier- en beekgeleidend bos (N14.01).
- Hoog- en laagveenbos (N14.02).
- Dennen-, eiken- en beukenbos (N15.02).
- Droog bos met productie (N16.01).
- Vochtig bos met productie (N16.02).

De oppervlakten van deze bossen samen is 303.859 ha.

De Jong *et al.* (2012) geven aan dat het risico van het verhogen van de oogst voor droog bos met productie en vochtig bos met productie (N16.01 en N16.02) gering is. Door intensiever te oogsten worden kenmerken geschapen die juist kansen bieden voor biodiversiteit, zoals meer licht op de bodem, dikkere bomen (doordat blijvende bomen meer ruimte krijgen na dunningen). Sommige veranderingen zijn minder gunstig voor bepaalde organismen, zoals het verwijderen van dood hout. Iets grotere kapvlakten leiden tot positieve effecten voor soorten van open bos (boomleeuwerik, rode bosmier) en zijn minder gunstig voor soorten van oudere bomen en gesloten bos (boomklever, fluiter). Zie onder meer Jong en Raffe, 2004.

De risico's voor biodiversiteit zijn hoger in de beheertypen rivier- en beekbegeleidend bos, hoog- en laagveenbos en dennen-, eiken- en beukenbos (N.14.01; N14.02 en N15.02). Algemene risicofactoren zijn verlies van variatie van soortensamenstelling en vegetatielagen en ook van ruimtelijke structuur. Ook zijn er zorgen voor het verdwijnen van bos op oude groeiplaatsen. Bij N.14 zijn de specifieke risico's gering, doordat slechts in een klein deel van deze bossen wordt geoogst. Het gaat hier om jonge binnendijkse bossen op voedselrijke bodems. Bij N15.02 is een specifiek risico het verlies aan oude, dikke bomen. Dit speelt minder in jonge inheemse loofbossen (< 100 jaar) op voedselarme bodems. Hier zijn de risico's voor biodiversiteit gering.

Risico's in deze drie bostypen kunnen worden beperkt door in te zetten op stroken met mantel- en zoomvegetaties in bosranden en langs bospaden (in N14.01 en N14,02) en door de oogst (maximaal 20%) zo te concentreren dat optimaal gebruik kan worden gemaakt van natuurlijke verjonging (berk en beuk) of aanplant (eik).

Houtoogst heeft dus effecten op de biodiversiteit, en door een juiste aanpak, zo mogelijk aangegeven in een richtlijn, kunnen negatieve effecten beperkt of voorkomen worden, en kunnen ook positieve effecten gerealiseerd worden.

6 Resultaten van de workshop

Op 12 november 2013 is tijdens een workshop van terreinbeheerders, Bosschap en deskundigen gediscussieerd over nut en noodzaak van een adviessysteem voor biomassaoogst uit Nederlandse bossen. Een praktisch advies instrument waarbij het oogstniveau gerelateerd wordt aan de nutriënten-huishouding. Tijdens de discussie kwamen de onderstaande onderwerpen aan de orde:

1. Er is in het veld grote interesse in de problematiek van de nutriëntenhuishouding in relatie tot de oogst van hout en biomassa uit bossen. De meeste deelnemers gaven aan dat nadere uitwerking belangrijk is. Men geeft aan niet te wachten op richtlijnen of andere zaken in voorschrijvende zin, maar wel op vuistregels die men zelf kan gebruiken bij de planning en fasering van oogstwerkzaamheden.
2. Men onderscheidt verschillende abstractieniveaus voor de vuistregels. De beleidsmaker heeft behoefte aan gedetailleerde en uitgewerkte informatie ter beantwoording van de vraag wat de consequenties van bepaalde maatregelen (kunnen) zijn. Daarbij wil men risico's kunnen inschatten. De praktische uitvoerder heeft behoefte aan een eenvoudig en direct in de praktijk toe te passen beslismodel dat per opstand kan aangeven of biomassa wel/niet geoogst kan worden en *welke voorzorgsmaatregelen getroffen moeten worden.* Ten aanzien van de uitwerking van het systeem zijn in de workshop al een aantal suggesties meegegeven. Zo zou bekeken moeten worden of er aandacht kan komen voor het gehalte organische stof. Dit is vooral voor de arme zandgronden van belang.
3. Ten aanzien van het praktische beslismodel (voor gebruik in het veld) wordt aanbevolen deze te koppelen aan locatie specifieke bodemeigenschappen, de beheersdoelstelling en teeltsysteem. Daarbij wordt de gangbare houtoogst op die locatie als referentie gebruikt (besluit ik wel/niet ook biomassa te oogsten en hoe/ hoe vaak?). Het model beperkt zich tot een set van standaardmaatregelen (vuistregels/-adviezen).
4. Men wenst vuistregels/ adviezen en geen (bindende) richtlijnen. Het geheel moet zo gepresenteerd worden dat de beheerder op basis van zijn/haar doelstellingen een goede keuze kan maken. Om dezelfde reden ook liever geen vaste kleuren (rood, groen, oranje).
5. Men onderschrijft het belang van monitoring om in de loop der jaren de adviezen/vuistregels nader te kunnen onderbouwen of aan te passen. Bij monitoring is het wel van belang dat deze gecoördineerd plaatsvindt, zodat resultaten onderling goed vergelijkbaar zijn en opgeschaald kunnen worden.
6. Een aantal aanwezige terreinbeheerders geeft aan zelf praktijk-experimenten te willen doen en zeer geïnteresseerd te zijn hiervoor over een standaardaanpak te kunnen beschikken (monitoringprotocol) en bij voorkeur dit te doen binnen een nationaal opgezet onderzoeksprogramma. Dit moet een publiek privaat karakter hebben zodat ze kunnen meedenken en meewerken aan proeven, experimenten en metingen en hiervoor ook praktijkexpertise aanleveren. Er is bereidheid tot ('in kind') investeren, maar als kanttekening wordt genoemd dat alle terreinbeherende natuurorganisaties nu onder druk staan en de financiële ruimte beperkt is.
7. Voorts wordt aangegeven dat het Bosschap en vanaf 1 januari 2014 de VBNE (Vereniging van Bos- en NatuurEigenaren) een belangrijke coördinerende/adresserende rol kunnen spelen.
8. Er is behoefte aan evaluaties van bestaande richtlijnen in het buitenland.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Internationale systemen en bodembescherming
Uit dit onderzoek (zie hoofdstuk 2) komt duidelijk naar voren dat in een toenemend aantal landen aan richtlijnen wordt gewerkt voor de oogst van biomassa ter vermijding van schade en uitputting van de bodem. Er zijn enkele landen zoals Zweden, Finland en Engeland die al op meerjarige ervaring kunnen bouwen. Er bestaat een grote variëteit tussen de systemen.

De meest gebruikte criteria zijn
1. Diepte van de bodem;
2. Hellingshoek/erosiegevoeligheid;
3. Natheid/kwaliteit ontwatering;
4. Bodemvruchtbaarheid.

Het tweede criterium is voor de Nederlandse bossen minder relevant, omdat bossen op steile hellingen bijna niet voorkomen. Bovendien is de oogst uit deze bossen uit het oogpunt van natuurbescherming zeer beperkt. Voor Nederland is bodemvruchtbaarheid het belangrijkste aandachtspunt, omdat een belangrijk deel van de bossen op arme bodems ligt. Een verschil met andere landen is wel, dat we in Nederland een belangrijke stikstofdepositie hebben waardoor voor Nederland de nadruk niet op die voedingsstof zal liggen, terwijl dit in sommige andere landen wel zo is.

Bij het ontwikkelen van richtlijnen is het essentieel
1. Praktijk- en wetenschappelijke kennis te bundelen.
2. Bij de opzet van de richtlijnen goed na denken over het toekomstig gebruik, de formele status en de handhaving. Dit kan namelijk mede bepalend zijn voor ontwerp en uitvoering.
3. De monitoring ter evaluatie en verbetering van het adviessysteem over een langere periode te faciliteren met praktijkexperimenten.

De nutriëntenbalans
Voor een goede inschatting van de voedingsstoffenbalansen per locatie zijn al verschillende gegevens beschikbaar. In hoofdstuk 3 is daarvan een indruk gegeven. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste resultaten. Voor enkele gegevens moet een verwerking van bestaande gegevens uitgevoerd worden of moet nader onderzoek uitgevoerd worden.

1. *Voorraden*
   Van de voorraden in de bodem is een redelijke inschatting van de meeste voedingsstoffen te maken. Voor de voor Nederland belangrijke zandgronden zijn goede gegevens beschikbaar. Van de kationen is in eerste instantie alleen een grove inschatting gemaakt voor veen, löss en kleibodems, maar nauwkeurigere gegevens zijn beschikbaar. Een belangrijke stap is daarnaast het koppelen van de gegevens aan algemeen bruikbare classificatie-eenheden, bijvoorbeeld bepaalde bodemtypen (arm of rijk zand), al dan niet in combinatie met vegetatiekenmerken.

2. *Depositie*
   Van de depositie zijn goede gegevens naar locatie beschikbaar van het RIVM. Een verdere verbetering is het koppelen van de hoeveelheid depositie (invang) aan de boskenmerken (boomsoort). Hiervoor zijn al redelijke gegevens beschikbaar.

3. *Verwering*
   Van verwering zijn voor de basenkationen indicatieve gegevens beschikbaar per bodemsoort. Voor P waren die gegevens nog niet beschikbaar, maar buitenlands onderzoek wijst er op dat de

verwering van P relatief klein is, dit wijst op een potentieel probleem voor P. Voor verwering zijn binnen Wageningen UR-modellen beschikbaar, die aanvullende gegevens kunnen genereren.

4. *Afvoer door oogst*
   Van de afvoer door oogst zijn goede inschattingen te maken op basis van hoeveelheden hout die worden afgevoerd en de concentraties voedingsstoffen in de verschillende boomcomponenten. De berekeningen kunnen echter verbeterd worden door de concentraties in boomcomponenten afhankelijk te maken van de (beschikbaarheid van voedingsstoffen in de) bodem.

   Voor de groei is het verder ook relevant om op basis van de bodemkenmerken een goede inschatting te maken van de bijgroei. Om de oogst van takhout goed in te schatten is het verder relevant om na te gaan of de verhouding stamhout / tak- en tophout verbeterd kan worden, bijvoorbeeld door die afhankelijk te maken van de leeftijden of diameters van de bomen.

5. *Uitspoeling*
   Van uitspoeling zijn indicatieve gegevens beschikbaar. Uitspoeling is voor een belangrijk deel een resultante van de voorgaande balanstermen. Dat maakt het moeilijk om er concrete uitspraken over te doen. Wel is bekend dat de uitspoeling van bijvoorbeeld P uit bosbodems erg klein is.

Voedingsstoffen beperkter beschikbaar op zandgronden
De hoeveelheden beschikbare voedingsstoffen (P, K, Ca en Mg) zijn op zandgronden gemiddeld aanzienlijk lager dan op veen, löss- of kleigronden. De helft van de zandgronden heeft minder dan (afgerond) 250 kg Ca, 100 kg K en 65 kg Mg per hectare in de bovenste 30 cm van de bodem. Deze beschikbare hoeveelheden worden in een rotatie ruim afgevoerd bij matige groei en bij oogst van de volledige bijgroei, inclusief stamhout en blad/naalden. Op de rijkere gronden is de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen al snel vier tot vele malen groter dan die voor de armere zandgronden.

Het is voor de armere zandgronden van belang dat de voedingsstoffen weer worden aangevuld door depositie en verwering, liefst tot een niveau van minimaal de hoeveelheid die gemiddeld jaarlijks wordt afgevoerd, zodat de beschikbaarheid van voedingsstoffen op peil blijft. Die afvoer is bij een matige groei bij dunning en eindvelling van de bijgroei voor K ± 3,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, voor Ca ± 5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en voor Mg ± 1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Oogst van takhout met blad / de naalden leidt in veel gevallen tot een verdubbeling van de afvoer tot voor K ± 7,5 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, voor Ca ± 9,3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en voor Mg ± 1,7 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$. Daarnaast is er nog verlies van voedingsstoffen door uitspoeling. Deze zal echter lager zijn naarmate er minder voedingsstoffen beschikbaar zijn.

Veel zandgronden kunnen een dergelijke afvoer niet compenseren met voedingsstoffen uit depositie en verwering. De depositie van K bedraagt bijvoorbeeld 1 tot 3 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ en de verwering levert een vergelijkbare hoeveelheid. Voor Ca is de depositie ongeveer 6 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$, maar deze is juist in het bosrijke oosten van Nederland beduidend lager, terwijl de verwering veelal slechts minder dan 1 $kg^{1}ha^{-1}jr^{-1}$ levert.

Het is daarom van belang uit te zoeken bij welke combinaties van bodems, regio's en beheer de hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen af kan gaan nemen en wat daarvan de gevolgen van kunnen zijn, en hoe daar het beste mee omgegaan kan worden.

Aanzet voor een adviessysteem
In hoofdstuk 4 is een aanzet voor een adviessysteem opgesteld. Bij het opstellen daarvan is het van belang om duidelijk uitgangspunt te kiezen. De hoeveelheid uitwisselbare voedingsstoffen die men in de bodem wenst is afhankelijk van het gekozen uitgangspunt en dat is een beleidskeuze. Mogelijke uitgangspunten zijn:
1. De beschikbaarheid van voedingsstoffen mag niet afnemen.
2. De beschikbaarheid van voedingsstoffen mag niet onder een bepaalde grens komen.
3. De afvoer mag maximaal een bepaald effect hebben op de bijgroei (houtproductiefunctie).
4. De hoeveelheid organische stof.

Een combinatie van bovenstaande uitgangspunten is mogelijk.

Een geadviseerde maximum afvoer en eventuele mitigerende maatregelen zijn afhankelijk van de factoren regio's (in verband met klimaat en luchtkwaliteit/depositie), bodemsoort (die beschikbaarheid van voedingsstoffen en groei bepalen) en boomsoorten (die de afvoer en groei bepaalt).

Regio's
Er kan een indeling gemaakt worden in regio's met een gelijkwaardige depositie (op basis van klimaat en luchtkwaliteit). Het is voor iedere locatie relatief eenvoudig vast te stellen tot welke regio het behoort door goed kaartmateriaal beschikbaar te maken.
De voorgestelde regio's zijn:
- Kustregio
- Noordoost
- Midden- en zuidoost
- Rest

Bodems
Voor de bodems is het van belang dat een indeling wordt toegepast die eenvoudig hanteerbaar is. De basisgegevens kunnen gedetailleerd zijn (bijvoorbeeld bodemtypen van de bodemkaart), maar voor een praktische toepassing kan het beter zijn om bodems te clusteren, bijvoorbeeld op basis van de textuur en rijkdom van het moedermateriaal. Dat kan verder worden onderverdeeld naar de oorsprong van het moedermateriaal:
- Zand, onderverdeeld in arm zand (grof, leemarm), matig rijk zand en rijk zand (fijn, leemhoudend).
- Leem / Löss.
- Klei, onderverdeeld in zeeklei en rivierklei.
- Veen.

Boomsoorten
De boomsoortensamenstelling is een in het veld eenvoudig te bepalen kenmerk. Voor de meest relevante boomsoorten kan de groei op basis van de groeiplaats ingeschat worden. De concentratie voedingsstoffen is voor de meest relevante boomsoorten eveneens in te schatten, hoewel het verband tussen concentraties en groeiplaats aandacht vergt.

Het systeem kan daarmee conform (nu nog vereenvoudigde) Tabel 20 uitgewerkt worden.

Tabel 20
Voorbeeld van een tabel die, eenmaal ingevuld, gebruikt kan worden als richtlijn voor de maximale hoeveelheid af te voeren hout.

Regio	Bodem	Boomsoort	Maximale afvoer takhout	Eventuele mitigerende maatregelen bij grotere oogst
Bijvoorbeeld midden en zuidoost	Bijvoorbeeld. arm zand	Bijvoorbeeld. grove den	Bijvoorbeeld ton/ha/jr Bijvoorbeeld y ton/75 jr (omloop)	Bijvoorbeeld. oogst takhout vier maand na velling

Omissies, onzekerheden en benodigde aanvullende kennis
Voor de uitwerking van het beoogde adviessysteem is een groot aantal gegevens nodig. Een groot deel van die gegevens zijn al beschikbaar. Voor een deel moeten gegevens nog voor het beoogde doel geanalyseerd worden, en in enkele gevallen is aanvullend onderzoek nodig. In Tabel 21 is een overzicht van de status van de gegevens weergegeven.

Tabel 21

Overzicht van beschikbare en ontbrekende gegevens. + = beschikbaar/goed; (+) = beschikbaar te maken (redelijk tot goed); (0) = beschikbaar te maken (redelijk); (-) = literatuur: zwak; - = n.v.t.; alles met (+) en (0) vereist nader onderzoek.

Flux term	Relevante data	Methode/ Databron	Bepalende factoren	Status				
				N	P	Ca	Mg	K
Voorraad	Bodemanalyses Nederlandse bosopstanden	Literatuur	Grondsoort	+	(+)	+	+	+
Depositie	Natte depositie	RIVM	Regio	+	+	+	+	+
	Droge depositie	metingen Nederlandse locaties	Boomsoort	(0)	(0)	(+)	(+)	(+)
Verwering	Totaalgehalten in bodem	Model en experiment	Grondsoort	-	(-)	(+)	(+)	(+)
Houtafvoer	Groeisnelheid	Groei-inventarisaties Literatuur	Boomsoort Grondsoort Vochtleverantie[1]	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	Houtdichtheid	Vademecum	Boomsoort	+	+	+	+	+
	Elementgehalten	Literatuur	Boomsoort Grondsoort N- en S-depositie	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Uitspoeling	Elementbalansen Waterbalans	Literatuur; ICP forests	Boomsoort Grondsoort Regio	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Workshop

Uit de workshop kwam naar voren dat er grote interesse is bij terreinbeheerders, Bosschap en andere betrokkenen in een adviessysteem voor biomassaoogst uit het Nederlandse bos. Men heeft behoefte aan goed onderbouwde vuistregels voor oogst van hout en biomassa uit bos. De vuistregels moeten een set van standaardmaatregelen omvatten gekoppeld aan bodemeigenschappen en beheerdoel-stelling en teeltsysteem. Het geheel moet geschikt zijn voor gebruik in het veld, maar ook aansluiten op vragen van beleidsmedewerkers over de functievervulling van het bos. Diverse betrokkenen hebben aangegeven te willen meewerken aan de totstandkoming van het adviessysteem en aan monitoring van het gebruik ervan.

7.2 Aanbevelingen

De oogst van biomassa uit Nederlandse bossen neemt toe. Dat is van belang voor terreinbeheerders die daarmee meer inkomsten genereren en voor de 'BV Nederland' als bijdrage aan de biobased economy. Essentieel is dat beheerders en uitvoerders daarbij de grenzen van duurzaamheid in acht nemen en, in het bijzonder bij de oogst van tak- en tophout, zorg dragen voor een goede nutriëntenbalans in het bos.

Om hen daartoe in staat te stellen verdient het aanbeveling om in samenspraak met de sector praktische vuistregels voor verantwoorde biomassaoogst te definiëren. Tenslotte verdient het aanbeveling de toepassing van de vuistregels te monitoren en nog aanwezige kennisleemtes te agenderen in relevante onderzoeksprogramma's.

Literatuur

Ackerman P. *et al.*, State of the art use of forest residues for bioenergy in southern Africa., Dep. of Forest and Wood Science Stellenbosch University. Produces by FESA and ICFR. Bevat geen richtlijnen voor selectie-opstanden en methods. ICFR Bulletin 03/2013.

ADEME Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Energie. La récolte raisonnée des rémanents en forêt. 2006.

Äijälä O. *et al.* Energy wood harvesting from clearcuts. Guidelines. April 2005.

Ampoorter E., R. Goris & K. Verheyen 2010. Maatregelen bij houtoogst. In Bosecologie en Bosbeheer. Ouden J. den, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). p. 477-484.

Baribault, T.W., R.K. Kobe en D.E. Rothstein, 2010. Soil calcium, nitrogen, and water are correlated with aboveground net primary production in northern hardwood forests. Forest Ecology and Management 260, pp. 723 - 733.

Biomass Harvesting Guidelines for Forestlands, Brushlands and Open Lands. Minnesota Forest Resources Council. P. 40. 2007.

Burg J. van den, 1985. Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. Wageningen, Rijksinstituut voor onderzoek in de bos - en landschapsbouw 'De Dorschkamp', Rapport no. 414.

Convenant duurzame agrosectoren 2008. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Daamen, W.P. 2008. Kaart van de oudste bossen in Nederland; kans op hotspots voor biodiversiteit. Werkdocument 121. Planbureau voor de Leefomgeving, Wettelijke onderzoekstaken Natuur & Milieu.

Dirkse G.M., W,P. Daamen, H. Schoonderwoerd, M. Japink, M. van Jole, R. van Moorsel, P. Schnitger, W.J. Stouthamer & M. Vocks 2007. Meetnet functievervulling bos 2001-2005. Vijfde Nederlandse bosstatistiek. Rapport DK nr. 2007/065. Ede. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij.

EECE Business. Good practice guide: Production of wood fuel from forest landings.

Egnell, G. 2013. Forest biomass for energy and sustainable management of forest soils – what do we need to know? In: Helmisaari, H-S. & Vanguelova, E., Proceedings of the Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSOIL Congress 2 nd July to 6th July 2012, Bari, Italy. 72 p.

Egnell G. Is the productivity decline in Norway spruce following shole-tree harvesting in the final felling in boreal Sweden permanent or temporary? Article in Forest Ecology and Management 261, 148-153, 2011.

Energy Wood Harvesting from Clearcuts, Guidelines, 2005.

Eriksson, Regulations and good-practice guidelines for whole-tree harvesting in Sweden. PP-presentation. SFA.

Eriksson and Levin (Univ. Toronto). Regulations and good-practice guidelines for whole-tree harvesting in Sweden, moving science to policy, Paper febr. 2008.

Fontein R.J. & W. Kuindersma 2009. Maatschappelijke weerstand: een issue voor terreinbeheerders in de keuze om biomassa te oogsten? Notitie Alterra, Wageningen UR.

Forest Biomass Harvesting Guidelines. New Brunswick. p.9, 2008.

Forest Guild Biomass Working Group, Santa Fe. Forest Biomass Retention and Harvesting, Guidelines for the Northeast. 2010.

Grull M. Den Waldboden schonen – Vorsorgender Bodenschutz beim Einsatz von Holzerntetechnik. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 47, Auszug S. 37-44. 2009.

Heilig, P.M., 1981. Houtvademecum. Antwerpen.

Helmisaari H. *et al.* Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. Article in Forest Ecology and Management 261, 1919-1927, 2011.

Helmisaari, H.S. en E. Vanguelova, 2012. Proceedings of the Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSOIL Congress 2nd July to 6th July 2012, Bari, OECD, 72 p.

Houtconvenant 2013, ondertekend op 5 maart 2013.

Herczeg M. *et al.* Environmental concerns and cross-sectoral relevance of biomass utilization in Hungary. EPI Gov. Berlijn 2007.
Houtconvenant 2013. Ondertekend op 5 maart 2013.
IEA. Good practice guidelines. Bioenergy project development & biomass supply. Parijs 2007.
Jansen P. 2008. Werk stilleggen of tracks. In Vakblad Natuur, Bos en Landschap jaargang 5, nr, 6 p. 6-8.
Jong, J.J. de, R.J. Bijlsma & J.H. Spijker 2012. Randvoorwaarden biodiversiteit bij oogst van biomassa; Alterra Rapport 2305.
Jong, J.J. de 2011. Effecten van oogst van takhout op de voedingstoestand en bijgroei van bos, een literatuurstudie. Alterra rapport 2202.
Jong, J.J. de, J.J.H. van den Akker & E. Kiestra 2007. Bodembeschadiging bij houtoogst met harvesters. Een vergelijking tussen harvesters op luchtbanden en op rupsbanden. Alterra Rapport 1476.
Jong J.J. de & J.K. van Raffe 2004. Fauna en terreinkenmerken van bos. Ontwikkeling van een model voor de relatie tussen tereinkenmerken en de geschiktheid van bos als habitat. Alterra rapport 1110.
Klaminder J. *et al.* Silicate mineral weathering rate estimates: Are they precise enough to be useful when predicting the recovery of nutrient pools after harvesting? Article in Forest Ecology and Management 261, 1-9, 2011.
Klaminder, J., Lucas, R.W., Futter, M.N., Bishop, K.H., Kohler, S.J., Egnell, G. & Laudon, H. 2011. Silicate mineral weathering rate estimates: are they precise enough to be useful when predicting the recovery of nutrient pools after harvesting? Forest Ecology and Management 261: 1-9.
Kölling Ch. *et al.* Energieholz nachhaltig nutzen. Biomassenutzung und Nährstoffentzug. LWF aktuell 61/2007.
Klap, J.M., W. de Vries en E.E.J.M. Leeters, 1999. Effects of acid atmospheric deposition on the chemical composition of loess, clay and peat soils under forest in the Netherlands. Wageningen, SC-DLO. Report 97, 181 pp.
Knecht, M.S. & Göransson, A. 2004. Terrestrial plants require nutrients in similar proportions. Tree
Physiology 24: 447-460.
Lattimore B. *et al.* Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Article in Biomass and Bioenergy 33 1321-1342, 2009.
Magnus F. Knecht, Göransson A., Terrestrial plants require nutrients in similar proportions. Tree Physiology 24, 447-460, Victoria, Canada 2004.
Marwijk R. van, R. de Vreese & A. van Herzele 2010. Maatregelen voor recreatie. In Bosecologie en Bosbeheer. Ouden J. den, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). p. 485-492.
Meiwes K. Energieholznutzung und standörtliche Nachhaltigkeit: Empfehlungen für die Praxis.Forst und Holz 64, Heft 2, 2009.
Meiwes K. *et al.* Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. AFZ-Der Wald, P. 598-603, 2008.
MFRC -Minnesota Forest Resources Council. Biomass harvesting guidelines for forestlands, brushlands and open lands. St. Paul, Minnesota 2007.
Michigan Department of Natural Resources and Environment. Michigan Woody Biomass Harvesting Guidance.. P. 1-18. 2010.
Minocha, R., S. Long, P. Thangavel, C. Minocha, C. Eagar en C. Driscoll, 2010. Elevation dependent sensitivity of northern hardwoods to Ca addition at Hubbard Brook Experimental Forest, NH, USA. Forest Ecology and Management, 260, p. 2115 - 2124.
Moffat A. *et al.* Managing Brash on Conifer Clearfell Sites, Practice Note. Forestry Commission, Edinburgh. 2006.
NEFA .A Review of Biomass Harvesting Best Management Practices Guidelines. North East State Foresters Association. P.42, 2012.
Newman, E.I., 1995. Phosphorus inputs to terrestrial ecosystems. Journal of Ecology 83, 713-726.
Nisbet R., Development of Forest Bioenergy Guidelines for Soil and Water Protection / Experiences from the UK. Article in OECD Workshop proceedings, Bari, 2012.
Nisbet, T.R., Guidance on Site Selection for Brash Removal. By of the Environmental & Human Sciences Division (Edinburgh). 2007.
Nisbet T.R., Dutch J, Moffat A.Whole Tree Harvesting, Forest, A guide to good practice. The Forestry Authority. Edinburgh, 1997.

North East State Foresters Association- NEFA. A review of biomass harvesting best management practices guidelines. P. 42 USA 2012.
Oosterbaan, A., C.A. van den Berg, T. de Boer, J.J. de Jong, L.G. Moraal, C. M. Niemeijer, M. Veerkamp & E. Verkaik, 2010. Storm en bosbeheer; Afwegingen voor het laten liggen of ruimen van stormhout;. Alterra-rapport 1959.
Ouden, J. den, P Jansen & K. Verheyen, 2010. Beheer van cultuur- en natuurhistorisch erfgoed. In Bosecologie en Bosbeheer. Ouden J. den, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). p. 503-510.
Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources. Guidance on Harvesting Woody Biomass for Energy in Pennsylvania. Best management Practices. P. 50.
Planbureau voor de leefomgeving 2012. Analyse van de milieu- en natuureffecten van Bruggen slaan – Regeerakkoord VVD-PvdA d.d. 29 oktober 2012. Een quick-scan.
Regeerakkoord Rutte-Asscher 2012. Bruggen slaan. 29 oktober 2012.
Reid Th.A. Forest biomass harvesting, Policy nr. FMB 019 2008, File nr. 416 00 0010. October 22, 2012.
Ros J., J. van Minnen & E. Arets 2013 –in prep.-. Climate effects of wood used for bioenergy. Planbureau voor de Leefomgeving en Alterra, Wageningen UR.
Rijtema, P.E. en W. de Vries, 1994. Differences in precipitation excess and nitrogen leaching from agricultural lands and forest plantations. In: Biomass and bioenergy, 6, p. 103 - 113.
Salm, C. Van der, L. Köhlenberg en W. de Vries, 1998. Assessment of weathering rates in dutch loess and clay soils at pH 3.5, using laboratory experiments. Geoderma 85: 41-62.
Salm, C. van der, W. de Vries, M. Olsson & K. Raulund-Rasmussen, 1999. Modelling Impacts of Atmospheric Deposition, Nutrient Cycling and Soil Weathering on the Sustainability of Nine Forest Ecosystems. Water Air Soil Pollut. 109 (1-4), 101-135.
Schipper P. & H. Siebel (red.) 2009. Index Natuur en Landschap. Onderdeel natuurtypen. versie 0.4.
Schrijver A. de, I. Janssens, J. Staelens & K. Wuyts. Koolstof- en nutriëntenkringlopen. In Bosecologie en Bosbeheer. Ouden J. den, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). p. 167-175.
Stuber V. *et al.* Sustainability and whole tree harvesting: evaluation of site mapping results in Lower Saxony. Forst und Holz, 2008.
Stupak I. *et al.*, Approaches to soil sustainability in guidelines for forest biomass harvesting and production in forests and plantations. Article in OECD Workshop proceedings, Bari, 2012.
Swaluw, E. van der, W.A.H. Asman en R. Hoogerbrugge , 2010. The Dutch National Precipitation Chemistry Monitoring Network over the period 1992-2004. Bilthoven, RIVM, RIVM Rapport 680704009, 83 p.
Swedish Forest Agency (SKOGSSTYRELSEN). Recommendations for extraction of harvesting residues and ash recycling (2008).
Swedish Forest Agency, English translation: Recommendations for Extraction of harvesting residues and ash recycling. Letter 2-2008.
Thiffault, E., Intensive biomass removals and site productivity in Canada: a review of relevant issues by *et al.* Artikel in Forestry Chronicle 2010. (based on presentation in 2010).
Thiffault E., Barrette J., Paré D., Mansuy N., Titus B. Developing and validating indicators of site suitability to forest biomass harvesting. Natural resources Canada.
Thiffault E. *et al.* Intensive biomass removals and site productivity in Canada: A review of relevant issues. The Forestry Chronicle3 vol. 86, 2010.
Thiffault, E. and others, Developing and validating indicators of site suitability to forest biomass harvesting. PP pres. 2013.
University of Maine. Woody Biomass Retention Guidelines: consideration and recommendations for retaining woody biomass on timber harvest sites in Maine. ISSN: 1070-1508. P. 68, 2010.
Vandekerkhove K., Keersmaeker L. de, Aa B. van der. Advies betreffende de ecologische effecten van een bijkomende oogst van exploitatieresten (kroonhout, stobben) bij bosexploitatie. INBO.A. 2011.69. Brussel 2012
Vermeulen G.D. & B.R. Verwijs 2009. Perspectief van een banddrukregelsysteem op vrachtwagens voor rondhoutvervoer. Een verkenning. Plant Research International. Nota 607.
Vermeulen G.D. & B.R. Verwijs 2007. Inventarisatie van techniek voor oogst en transport met lage bodemdruk. Plant research International. Rapport 163.
Vries, W. De en E.E.J.M. Leeters, 2001. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 150 forest stands in the Netherlands in 1990. Wageningen, Alterra Green World Research. Report 424.1. 113 pp.

Vries, W. de, A. Hol, S. Tjalma en J.C.H. Voogd, 1990. Literatuurstudie naar voorraden en verblijftijden van elementen in bosecosystemen. Wageningen : Staring Centrum, rapport 94, 205 p.

Walsh D. *et al.* 'FibrePlus' study: Harvesting stemwood waste pieces in pine clearfall. CRC for Forestry, Bulletin 18. 2011.

Wilmot, T.R., D.S. Ellsworth en M.T. Tyree, 1996. Base cation fertilization and liming effects on nutrition and growth of Vermont sugar maple stands. in: Forest Ecology and Management, 84, p. 123- 134.

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2494
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore the potential of nature to improve the quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2494
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.