



Houtoogst en bodemvruchtbaarheid

Een modelstudie naar duurzaamheid van houtoogst op Nederlandse bosgroeiplaatsen

L.T.C. Bonten, R.J. Bijlsma, S.P.J. van Delft, J.J. de Jong, J.H. Spijker en W. de Vries

Houtoogst en bodemvruchtbaarheid

Een modelstudie naar duurzaamheid van houtoogst op Nederlandse bosgroeiplaatsen

L.T.C. Bonten, R.J. Bijlsma, S.P.J. van Delft, J.J. de Jong, J.H. Spijker en W. de Vries

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 'Natuur en Regio-Biodiversiteit Terrestrisch' (projectnummer BO-11-011.01-053).

Alterra Wageningen UR
Wageningen, juni 2015

Alterra-rapport 2618
ISSN 1566-7197

Bonten, L.T.C., R.J. Bijlsma, S.P.J. van Delft, J.J. de Jong, J.H. Spijker en W. de Vries, 2015. *Houtoogst en bodemvruchtbaarheid; Een modelstudie naar duurzaamheid van houtoogst op Nederlandse bosgroeiplaatsen*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2618. 70 blz.; 11 fig.; 22 tab.; 55 ref.

Dit rapport brengt met een modelstudie de duurzaamheid van houtoogstscenario's in beeld ten aanzien van nutriëntenbalansen op verschillende Nederlandse bosgroeiplaatsen. Tegelijkertijd geeft de studie aan waar (nog aanzienlijke) onzekerheden liggen bij de vertaling naar een adviessysteem voor houtoogst. De voor houtoogst relevante groeiplaatsen zijn gekarakteriseerd met 11 typen. Voor elk van deze groeiplaatstypen is met een model nagegaan in welke mate combinaties van boomsoort, groeiklasse (groeiverwachting) en oogstscenario leiden tot een negatieve nutriëntenbalans voor calcium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) en fosfor (P). Ook is nagegaan hoe snel de bosbodem wordt uitgeput. Bij de rijkere gronden wordt voor alle groeiklassen zelden een negatieve balans verwacht. Over de gehele range aan groei treedt er uitputting op bij de armere gronden, met name bij hogere groeiklassen. De uitputting treedt vooral op bij Ca en K. Voor deze gronden wordt zelfs bij de huidige oogst al een uitputting berekend. Voor een betere praktische toepasbaarheid is het cruciaal om tot een adviessysteem te komen met een grotere betrouwbaarheid.

This report provides a model study on the sustainability of timber harvesting scenarios in view of nutrient balances of eleven Dutch soil/site quality groups. It also reports the (considerable) uncertainties when translating the results to an advisory system for timber harvesting. For each of the soil/site quality groups we calculated for the extent to which combinations of tree species, growth class (growth expectation) and harvest scenarios lead to a negative balance of nutrients for calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K) and phosphorus (P) and if so, how fast the soil pool is exhausted. A negative balance is hardly calculated for the richer loamy to clayey soil types, while depletion occurs for all the poorer sandy soils over of all growth classes, being faster for the higher growth classes. The depletion occurs particularly in Ca and K. For better practical applicability, it is crucial to arrive at a recommendation system with a greater reliability.

Trefwoorden: adviessysteem houtoogst, groeiplaats, nutriëntenbalans, uitputting

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.

© 2015 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 2618 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Kronendak Norgerholt (foto R.J. Bijlsma)

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Methoden	11
	2.1 Inleiding	11
	2.2 Groeiplaatstypen en elementvoorraden	11
	2.2.1 Indeling van groeiplaatsen	12
	2.2.2 Bodemkundige referentiewaarden voor groeiplaatstypen	13
	2.3 Depositie, verwerking en uitspoeling	19
	2.3.1 Depositie	19
	2.3.2 Verwerking	21
	2.3.3 Uitspoeling	21
	2.4 Opname en afvoer van nutriënten	22
	2.4.1 Modelbeschrijving	22
	2.4.2 Boomsoorten	23
	2.4.3 Oogstscenario's en groeiklassen	24
3	Resultaten	25
	3.1 Nutriëntbalansen in bossen	25
	3.2 Uitputting van de bodemvoorraad	31
4	Discussie en conclusies	36
	4.1 Modeltermen en onzekerheden	36
	4.2 Verwachtingen van een nationaal adviessysteem houtoogst	37
	4.3 Conclusies	38
	Literatuur	39
	Bijlage 1 Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de bosbouw	42
	Bijlage 2 Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de groeiplaatstypen	58
	Bijlage 3 Programma en genodigden workshop nutriëntenbalans	69

Woord vooraf

Een groot deel van het Nederlandse bos wordt sinds de jaren tachtig aangeduid als multifunctioneel; hier moet rekening worden gehouden met houtoogst, natuur en recreatie. De gebruikelijke beheervorm is 'geïntegreerd bosbeheer', met overwegend kleinschalige beheeringrepen. De afgelopen jaren is duidelijk geworden dat houtoogst bij deze beheervorm niet altijd optimaal kan plaatsvinden en ook dat de bijdrage aan natuur niet optimaal wordt gerealiseerd. Een scheiding van functies binnen boslandschappen of soms zelfs tussen beheereenheden kan dit probleem wellicht oplossen. Deze denkrichting is in een stroomversnelling gekomen door de economische recessie en de wens houtoogst uit te breiden en te intensiveren.

Tegelijkertijd zijn er echter vragen gerezen over de duurzaamheid van intensievere oogstscenario's (zoals oogst van tak- en tophout) ten aanzien van de nutriëntenbeschikbaarheid (o.a. Kint, 2013). Uit recent ecologisch onderzoek blijkt verder dat de sterk verhoogde stikstofbeschikbaarheid door atmosferische depositie in combinatie met verzuring heeft geleid tot mineralentekorten in planten en een verstoorde eiwitsynthese die doorwerkt in de voedselketen in bossen (Van den Burg *et al.*, 2014) en mogelijk ook in groei en ontwikkeling van boomsoorten. Ten aanzien van beide aspecten is een adviessysteem voor houtoogst gewenst.

Dit rapport brengt met een modelstudie de duurzaamheid van houtoogstscenario's in beeld ten aanzien van nutriëntenbalansen op verschillende Nederlandse bosgroeiplaatsen. Tegelijkertijd geeft de studie aan waar (nog aanzienlijke) onzekerheden liggen bij de vertaling naar een adviessysteem voor houtoogst.

Het onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken als onderdeel van het BO-onderzoek (project BO-11-011.01-053 in thema Biodiversiteit terrestrisch) met als contactpersonen Peter van der Knaap (Directie Natuur en Biodiversiteit) en Gerard Grimberg (Directie Agro en Natuurkennis). De begeleidingscommissie bestond verder uit Hans Gierveld (Landgoed Twickel), Rino Jans (Unie van Bosgroepen), Henk Siebel (Natuurmonumenten), Sander Wijdeven (Staatsbosbeheer) en Arno Willems (Kroondomein Het Loo).

In september 2014 zijn voorlopige resultaten gepresenteerd op de beheerdersdag in Hilversum. In november 2014 zijn uitvoeriger resultaten bediscussieerd in een workshop met extra genodigden in Wageningen. In februari 2015 is een samenvatting van het onderzoek gepresenteerd als bijdrage aan een themabijeenkomst Nutriënten in bossen van het OBN-deskundigenteam Droog zandlandschap in Wageningen.

Samenvatting

De Nederlandse bossector heeft zich in het houtconvenant tot doel gesteld om door middel van een grotere oogst van biomassa uit bossen een bijdrage te leveren aan de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening. Het onderzoek is ingegeven door vragen over de duurzaamheid van intensievere oogstscenario's, zoals oogst van tak- en top hout, ten aanzien van de nutriëntenbeschikbaarheid. Dit rapport brengt met een modelstudie de duurzaamheid van houtoogstscenario's in beeld ten aanzien van nutriëntenbalansen op verschillende Nederlandse bosgroeiplaatsen. Tegelijkertijd geeft de studie aan waar nog (aanzienlijke) onzekerheden liggen bij de vertaling naar een adviesstelsel voor houtoogst.

De voor houtoogst relevante groeiplaatsen in Nederland zijn volgens de Landschappelijke bodemkaart gekarakteriseerd met 11 typen binnen de hogere zandgronden en de Pleistocene rivierterrassen. Verschillen tussen groeiplaatsen betreffen mineralenrijkdom (van invloed op de verwerkingssnelheid), leemgehalte (van invloed op vochthoudendheid en verweringscapaciteit) en bodemvorming (van invloed op uitspoeling van mineralen).

Voor elk van deze groeiplaatstypen is met het model GrowUp nagegaan in welke mate combinaties van boomsoort, groeiklasse (groeiverwachting) en oogstscenario leiden tot een negatieve nutriëntenbalans voor calcium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) en fosfor (P). De geselecteerde boomsoorten zijn eik, beuk, es, grove den, douglas en lariks. Gemakshalve is per boomsoort een brede range van groeiklassen doorgerekend waarbij achteraf relevante combinaties van groeiplaats-groeiklasse zijn aangegeven. De doorgerekende beheersscenario's betreffen 1) alleen oogst van stamhout, 2) oogst van stamhout plus de oogst van takhout bij de eindkap en 3) oogst van stamhout met daarbij zowel bij dunningen als bij eindkap de oogst van takhout. Dit laatste scenario betreft de oogst met bijbehorende nutriëntenbalansen bij een forse intensivering van het beheer met oogst van takhout. De aan- en afvoertermen depositie, verwerking en uitspoeling zijn bepaald uit gegevens van landelijke meetnetten en uit profielbeschrijvingen en chemische analyses van bodems beschikbaar in Humbase, in combinatie met literatuurgegevens. Voor die gevallen waarin een negatieve balans wordt verwacht, is ook nagegaan hoe snel de bosbodem wordt uitgeput. Stikstof is buiten beschouwing gelaten, omdat de aanvoer ervan door depositie voor de meeste Nederlandse bossen zeer hoog is, waardoor geen tekorten worden verwacht.

De belangrijkste conclusies zijn:

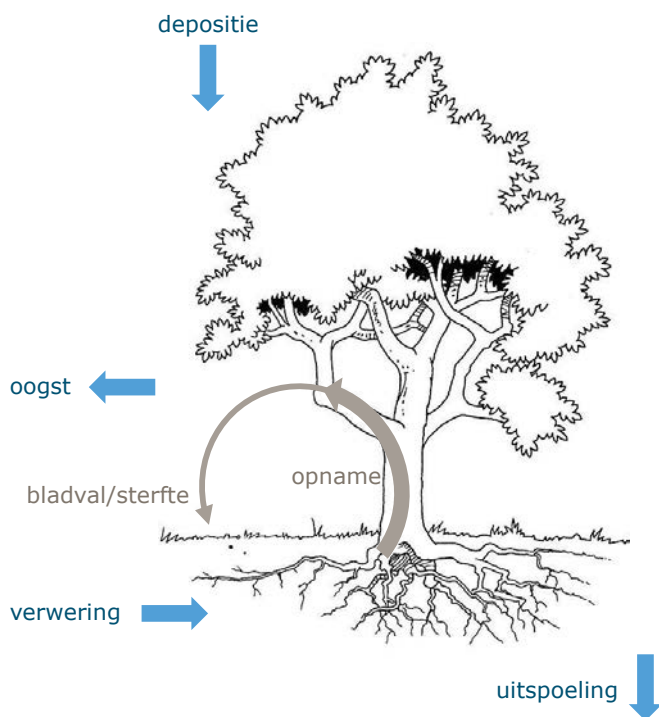
1. Er zijn duidelijke verschillen tussen de rijkere gronden en de armere gronden. Bij de rijkere gronden wordt voor alle groeiklassen zelden uitputting verwacht. Over de gehele range aan groei treedt er wel uitputting op bij de armere gronden, met name bij hogere groeiklassen. De uitputting treedt vooral op bij Ca en K. Voor deze armere gronden wordt zelfs bij de huidige oogst al een uitputting berekend.
2. De huidige berekeningen kennen nog een aantal grote onzekerheden. De belangrijkste onzekerheid is de mate waarin de opname en gehalten van nutriënten in boomcompartimenten gerelateerd is aan de beschikbaarheid van deze nutriënten.
3. Ook de aanvoertermen hebben een grote onzekerheid. Dit geldt vooral voor de aanvoer van kationen door verwerking en de aanvoer van P door atmosferische depositie. Ook verwerking van P heeft een grote onzekerheid, maar de bijdrage aan de totale P-balans is gering.

Om in de nabije toekomst te komen tot een voor specifieke locaties toepasbaar adviesstelsel, is het nodig dat de huidige onzekerheden in de berekeningen worden verkleind. Hiervoor zijn aanvullende gegevens nodig van de opname en gehalten van nutriënten in bomen in relatie tot de beschikbaarheid in de bodem en van de aanvoer van nutriënten door verwerking en depositie. Verder is het van belang dat er een koppeling wordt gelegd tussen de groeiplaatsen en de mogelijke groeiklassen (groeiverwachting) op deze groeiplaatsen.

1 Inleiding

De Nederlandse bossector heeft zich in het houtconvenant tot doel gesteld om door middel van een grotere oogst van biomassa uit bossen een bijdrage te leveren aan de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening (zie www.vbne.nl). Voor bossen zal dit onder meer betekenen dat extra top- en takhout uit bossen wordt afgevoerd. Dit top- en takhout blijft momenteel in de meeste gevallen achter in het bos. Volgens de doelstellingen, zoals geformuleerd in het houtconvenant, zal de huidige oogst moeten toenemen van ca. 1,2 mln m³ naar 1,8 mln m³ stamhout/jr en nog zo'n 0,6 mln m³ top- en takhout.

Bij deze grotere afvoer van biomassa uit bossen worden er ook extra nutriënten afgevoerd. In Figuur 1.1 zijn de verschillende aan- en afvoertermen van nutriënten in bossen weergegeven. Aanvoer vindt plaats door atmosferische depositie en door verwerking van bodemmineralen en afvoer door afvoer van biomassa en door uitspoeling van nutriënten uit de wortelzone.



Figuur 1.1 Aan- en afvoer van nutriënten in bossen.

In dit rapport is voor een aantal oogstscenario's en combinaties van boomsoort en groeiplaats bepaald in welke mate de extra oogst van biomassa leidt tot een negatieve nutriëntenbalans voor bossystemen. Voor die gevallen waarin een negatieve balans wordt verwacht, is ook nagegaan hoe snel de bosbodem wordt uitgeput voor de nutriënten calcium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) en fosfor (P). Stikstof is buiten beschouwing gelaten, omdat de aanvoer ervan door depositie voor de meeste Nederlandse bossen zeer hoog is, waardoor geen tekorten worden verwacht.

In hoofdstuk 2 worden de methoden en data besproken om de nutriëntenbalansen te berekenen. Allereerst worden de beschouwde groeiplaatstypen gekarakteriseerd (§ 2.2). In § 2.3 wordt de aanvoer van nutriënten besproken en in § 2.4 de opname en afvoer van nutriënten voor verschillende boomsoorten en oogstscenario's. In deze laatste paragraaf worden ook groeiklassen van geselecteerde boomsoorten gekoppeld aan groeiplaatstypen. Hiertoe is in eerste instantie de Stiboka-methode voor

bodemgeschiktheidsbeoordeling gebruikt, gekoppeld aan opbrengsttabellen. Aangezien de Stiboka-methode (vooral gebruikt in de jaren tachtig) niet makkelijk online beschikbaar is, is de werkwijze samengevat in Bijlage 1.

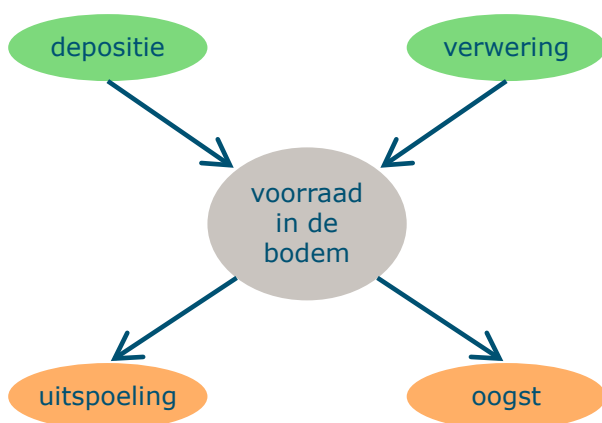
De resultaten van de modelstudie worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd aan de hand van nutriëntenbalansen voor gemiddelde Nederlandse situaties per combinatie van groeiplaatstype-boomsoort.

In hoofdstuk 4, Discussie en conclusies, wordt ingegaan op onzekerheden en wordt nagegaan hoe de resultaten kunnen bijdragen aan een adviessysteem voor houtoogst.

2 Methoden

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de methoden die zijn gebruikt om een schatting te maken van de voorraden en de verschillende balanstermen voor de aanvoer en afvoer van de nutriënten Ca, Mg, K en P (Figuur 2.1). Daarbij is onderscheid gemaakt in groeiplaatstypen die enerzijds een effect hebben op de groei, en dus op de afvoer van nutriënten, en anderzijds door verschillen in bodemchemische eigenschappen die tevens leiden tot verschillen in elementvoorraden en verwerking.



Figuur 2.1 Aan- en afvoer van nutriënten in bosbodems.

Er zijn 11 verschillende groeiplaatstypen onderscheiden met verschillende bodemeigenschappen. De indeling van de groeiplaatstypen en de parametrisatie van de typen is beschreven in § 2.2.

De voorraden aan elementen per bodemlaag (kg ha^{-1}) zijn bepaald door gehalten aan beschikbaar P (oxalaat extraheerbaar P) en uitwisselbaar Ca, Mg en K (bodemchemische eigenschappen die variëren per groeiplaatstype) te vermenigvuldigen met de bulkdichtheid en de dikte van alle bodemlagen in de wortelzone, d.w.z. die lagen waaruit bomen nutriënten kunnen opnemen. In de berekeningen zijn we uitgegaan van een uniforme dikte van de wortelzone van 90 cm (zie § 2.2).

De (geclusterde) groeiplaatstypen bepalen tevens de verwerkingssnelheid (§ 2.3.2) middels het effect van textuur en pH daarop, maar depositie (§ 2.3.1) is onafhankelijk van de groeiplaats bepaald. Voor uitspoeling (§ 2.3.3) zijn in de berekeningen gemiddelde waarden gebruikt, dus onafhankelijk van het groeiplaatstype. In werkelijkheid zal er een beperkt verband zijn tussen bodemeigenschappen en uitspoeling van nutriënten. De beoogde koppeling van opname en groei van geselecteerde boomsoorten aan groeiplaatstypen heeft uiteindelijk niet plaatsgevonden. In plaats daarvan is voor alle combinaties van groeiplaatstype-boomsoort-oogstscenario een grote variatie aan groeiklassen doorgerekend (§ 2.4).

2.2 Groeiplaatstypen en elementvoorraden

Om de mate van uitputting van de bodem als gevolg van verschillende beheersscenario's bij houtoogst te kunnen berekenen, moeten de in de bodem aanwezige voorraden vergeleken worden met de hoeveelheden die worden onttrokken bij de oogst. Om de omvang van deze voorraden te bepalen, zijn voor verschillende groeiplaatstypen referentiewaarden gezocht voor variabelen van bodemchemie en textuur, zoals hieronder in meer detail is uitgewerkt.

2.2.1 Indeling van groeiplaatsen

De indeling van de groeiplaatsen sluit aan bij de landschapsecologische indelingen van de Landschapsleutel en de Landschappelijke bodemkaart (Kemmers *et al.*, 2011, Van Delft *et al.*, 2015, Maas *et al.*, in voorbereiding). Er zijn 11 groeiplaatsen gedefinieerd binnen de hogere zandgronden en de Pleistocene rivierterrassen (Tabel 2.1). Bij elk groeiplaatstype zijn een of meer karakteristieke bodemtypen gegeven. Verschillen tussen groeiplaatsen betreffen mineralenrijkdom (van invloed op de verwerkingssnelheid), leemgehalte (van invloed op vochthoudendheid en verweringscapaciteit) en bodemvorming (van invloed op uitspoeling van mineralen).

Tabel 2.1

Indeling van groeiplaatstypen en karakterisering met referentiebodemtypen.

Groeiplaatstype	Bodemtypen
GPL01 Droge mineraalrijke zandgronden op overwegend leemhoudende stuwwallen	Y23, Y30
GPL02 Lössleemgronden op leemhoudende stuwwallen	Ld5, Ln5, Ld6, Ln6
GPL03 Atmotrofe droge basenarme zandgronden op Puinwaaiers en leemarme stuwwallen	Hd30
GPL04 Keileem of zand met ondiep keileem	KX, KT
GPL05 Initiële droge basenarme zandgronden in landduinen	Zd21
GPL06 Atmotrofe droge basenarme zandgronden in overwegend leemarme droge dekzand gebieden	Hd21
GPL07 Atmotrofe vochtige zandgronden in Vochtige dekzandlaagten	Hn21
GPL08 Atmotrofe basenarme zandgrond met stagnerend regenwater en schijnspiegels	Hn23x, Hn23t, Hn21x, Hn21t
GPL09 Kalkarme rivierzandgronden in Pleistocene rivierterrassen	Zb30, Zb21
GPL10 Matig basenarme Oude rivierkleigronden in Pleistocene rivierterrassen	KRn1, KRn2, KRd1, KRd7
GPL11 Hoge zandgronden met een zwart bouwlanddek	zEZ21, zEZ23, cHn21, cHn23, cHd21, cHd23

De positie van de groeiplaatstypen in de systematiek van de Landschapsleutel en de Landschappelijke Bodemkaart wordt gegeven in Tabel 2.2. Op grond van deze relaties kunnen concrete opstanden worden gekoppeld aan een ecoserie en primaire standplaats en daarmee aan resultaten voor groeiplaatstypen in dit rapport.

Tabel 2.2

*Groeiplaatstypen in relatie tot de landschapsecologische indeling van de Landschapsleutel en de Landschappelijke bodemkaart. Voor de beschrijving van de eenheden wordt verwezen naar de Landschapsleutel (www.landschapsleutel.wur.nl; Van Delft *et al.*, 2015).*

Groeiplaats type	Ecoserie	Primaire standplaats
GPL01	HzGL Leemhoudende stuwwallen	PS005 Droge mineraalrijke zandgronden
GPL02	HzGL Leemhoudende stuwwallen	PS020 Droge lössleemgronden PS021 Hooggelegen lössleemgronden met pseudogley
GPL03	HzGP Puinwaaiers en leemarme stuwwallen	PS004 Atmotrofe droge basenarme zandgronden
GPL04	HzGK Keileemopduikingen	PS006 Keileem of zand met ondiep keileem
GPL05	HzSD Landduinen	PS001 Initiële droge basenarme zandgronden
GPL06	HzDA Leemarme droge dekzand gebieden	PS004 Atmotrofe droge basenarme zandgronden
GPL07	HzDV Vochtige dekzandlaagten	PS011 Atmotrofe vochtige zandgronden
GPL08	HzDL Lemige dekzand gebieden en dekzand op leem	PS010 Atmotrofe basenarme zandgrond met stagnerend regenwater en schijnspiegels
GPL09	RiTP Pleistocene rivierterrassen	PS034C Grofzandige rivierzandgronden (kalkarm) PS035C Fijnzandige rivierzandgronden (kalkarm)
GPL10	RiTP Pleistocene rivierterrassen	PS040 Matig basenarme Oude rivierkleigronden
GPL11	HzOZ Zwarte eerdgronden	PS111 Hoge zandgronden met een zwart bouwlanddek

2.2.2 Bodemkundige referentiewaarden voor groeiplaatstypen

Van alle benodigde variabelen van bodemchemie en textuur (Tabel 2.3) zijn de mediaan en de spreiding (10%- en 90%-percentiel, P10 en P90) bepaald. Omdat niet van alle variabelen genoeg analysegegevens beschikbaar waren, zijn mediaan en spreiding ook bepaald per horizontgroep, zonder onderscheid naar groeiplaatstype (zie § 2.2.2.1). Bij groeiplaatstypen met zeer weinig waarnemingen (2 of 3 profielen) zijn de minimum- en maximumwaarde gebruikt.

Tabel 2.3

Variabelen waarmee de groeiplaatsen gekarakteriseerd worden in de modelberekeningen.

Variabele	Eenheid	Samenvatting	Beschrijving
Aantal	N		Aantal profielen in groeiplaatstype
Lutum	%	Gemiddeld	Lutumgehalte (< 2 µm)
Silt	%	Gemiddeld	Siltgehalte (2 - 50 µm)
Org	kg/m2	Voorraad	Organische stof in het hele profiel
Orgm	kg/m2	Voorraad	Organische stof in het minerale profiel
pH		Gemiddeld	pH-KCl gemiddeld over profiel
pHB		Gemiddeld	pH-KCl gemiddeld over bovengrond
CEC	molc/m2	Voorraad	Kationbindingscapaciteit van het hele profiel
CECm	molc/m2	Voorraad	Kationbindingscapaciteit van het minerale profiel
Ca_uitw	molc/m2	Voorraad	Geadsorbeerd calcium in het hele profiel
Ca_uitwm	molc/m2	Voorraad	Geadsorbeerd calcium in het minerale profiel
K_uitw	molc/m2	Voorraad	Geadsorbeerd kalium in het hele profiel
K_uitwm	molc/m2	Voorraad	Geadsorbeerd kalium in het minerale profiel
Mg_uitw	molc/m2	Voorraad	Geadsorbeerd magnesium in het hele profiel
Mg_uitwm	molc/m2	Voorraad	Geadsorbeerd magnesium in het minerale profiel
N_tot	kg/m2	Voorraad	Totale voorraad stikstof in het profiel
P_ox	mol/m2	Voorraad	Totale voorraad geadsorbeerd fosfaat in het profiel

De referentiewaarden zijn direct of indirect afgeleid uit de volgende bronnen:

- Profielbeschrijvingen en analysegegevens in HumBase (Van Delft, 2013)
- Fysisch-chemische karakterisering van Nederlandse gronden (De Vries, 1999)
- Textuurbepalingen bij de Bodemkaart van Nederland

De afleiding wordt hieronder nader toegelicht ten aanzien van kenmerken van het bodemprofiel (§ 2.2.2.1), textuurkenmerken (§ 2.2.2.2), zuurgraad en pH-relaties (§ 2.2.2.3), zuurbuffer en uitwisselbare kationen (§ 2.2.2.4) en voorraden per profiel (§ 2.2.2.5).

2.2.2.1 Kenmerken van het bodemprofiel

Selectie van profielen uit Humbase

HumBase is een database waarin humus- en bodemprofielbeschrijvingen zijn opgeslagen die voornamelijk afkomstig zijn uit bossen en natuurterreinen (Van Delft, 2013). Naast de profielbeschrijvingen is een groot aantal bodemchemische analyses en veldbepalingen van de bodem-pH opgeslagen. Voor het bepalen van de referentiewaarden zijn alle profielbeschrijvingen uit bossen binnen de hier onderzochte groeiplaatstypen geselecteerd (N = 207). In Tabel 2.4 is het aantal profielbeschrijvingen weergegeven per groeiplaatstype binnen een drietal fysiografische eenheden. Het aantal profielen per groeiplaatstype verschilt sterk, van 2 tot 62. Van GPL10 komt geen profiel voor. Van deze profielen zijn analysegegevens van 459 bodemonsters beschikbaar, waaraan een of meer van de benodigde bepalingen zijn verricht. Meerdere monsters van dezelfde locatie zijn uit de selectie verwijderd. Het uiteindelijke aantal monsters in de selectie bedraagt 377 uit 122 profielen, waarbij steeds 2 of 3 lagen bemonsterd zijn, vaak de strooisellaag en de onderliggende laag, soms ook diepere lagen. Van 86 profielen zijn geen analysegegevens beschikbaar; deze profielen konden wel gebruikt worden om de groeiplaatstypen te karakteriseren.

Tabel 2.4

Aantallen profielen in HumBase per groeiplaatstype (vergelijk Tabel 2.1) binnen de betrokken fysiografische eenheden (naar Kemmers & De Waal, 1999).

Groeiplaatstype	Fysiografische eenheid			Eindtotaal
	Löss- en mergelgronden	Oude kleigronden	Regenwatergevoede zandgronden	
GPL01			37	37
GPL02	22			22
GPL03			8	8
GPL04		6		6
GPL05			48	48
GPL06			9	9
GPL07			62	62
GPL08			3	3
GPL09			2	2
GPL10				0
GPL11			10	10
Eindtotaal	22	6	179	207

Schematisatie van profielen tot horizontgroepen

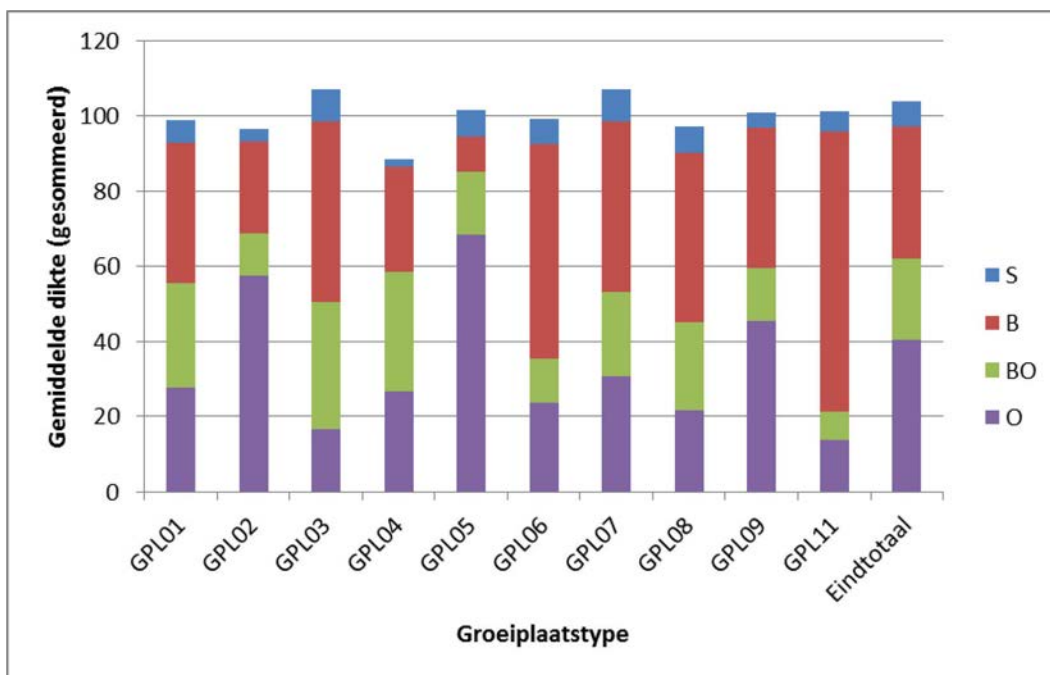
Om de groeiplaatstypen te karakteriseren, is een schematisatie van de beschikbare profielen gemaakt. Hiervoor zijn de horizonten binnen de bewortelbare zone ingedeeld in vier groepen (Tabel 2.5).

Tabel 2.5

Indeling van horizonten in horizontgroepen voor de schematisatie van bodemprofielen.

Horizontgroep	Horizonten	Omschrijving
S	L + F + H	Strooisellaag
B	A + E + B	Bovengronden
BO	AC + BC	Overgangshorizonten
O	C	Ondergrond

Hoewel de bewortelbare diepte per profiel en per groeiplaatstype kan verschillen, is gekozen voor een vaste diepte. De gemiddelde bewortelbare diepte van de 208 geselecteerde profielen is 88 cm. Voor de berekeningen zijn de horizonten tot 90 cm –mv. geselecteerd. De diktes van de horizontgroepen zijn per profiel gesommeerd. In Figuur 2.2 zijn de gemiddelde diktes van de horizontgroepen per groeiplaatstype grafisch weergegeven. Tabel 2.6 geeft een samenvatting van de diktes van horizonttypen per horizontgroep in de geschematiseerde profielen.



Figuur 2.2 Geschematiseerde profielopbouw per groeiplaatstype. Voor groeiplaatstypen zie Tabel 2.1. S: strooisellaag; B: bovengronden; BO: overgangshorizonten; O: ondergrond.

Tabel 2.6

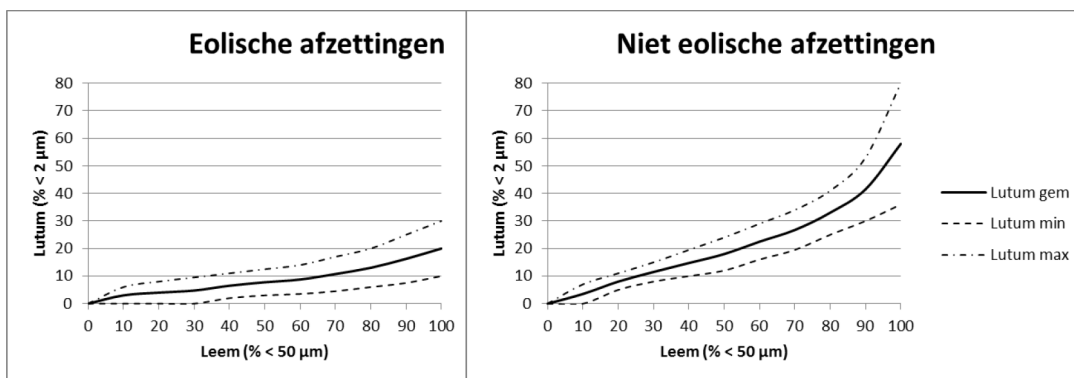
Horizonttypen in de lagen van de geschematiseerde profielen. De cijfers geven de gemiddelde dikte van verschillende horizonten per laag. Voor groeiplaatstypen zie Tabel 2.1.

Groeiplaatstype	Strooisellaag (S)	Bovengrond (B)										Overgang (BO)		Ondergrond (O)
	Dikte S (LFH)	Totaal	Ah	AE	E	AB	EB	Bh	Bw	Bt	Totaal	AC	BC	C
GPL01	6.2	37.2	17.0			20.2			27.9		27.9			27.7
GPL02	3.2	24.5	8.0	16.5			11.2				11.2			57.6
GPL03	8.6	48.0	10.0	23.0	15.0			33.8			33.8			16.6
GPL04	2.3	27.8	10.0	17.8			31.8				31.8			26.7
GPL05	7.0	9.6	9.6			16.6			16.6					68.4
GPL06	6.8	57.0	15.0	20.0	22.0			11.9			11.9			23.6
GPL07	8.3	45.6	15.0	15.0	15.6			22.4			22.4			30.6
GPL08	7.2	45.0	15.0	15.0	15.0			23.3			23.3			21.7
GPL09	3.8	37.5	15.0	22.5			14.0				14			45.5
GPL10	5.0	22.5	22.5				35.0				35			32.5
GPL11	5.2	74.6	50.0	24.6			7.5				7.5			13.8

Van de geselecteerde bodemonsters is vastgesteld tot welke horizontgroep deze gerekend kunnen worden. Voor monsters genomen op vaste dieptes, waarbij materiaal uit meerdere horizonten in één monster is samengenomen, is het monster toegekend aan de horizontgroep waarvan de grootste dikte is bemonsterd.

2.2.2.2 Textuurkenmerken

Voor het berekenen van de verweringsnelheid en de CEC zijn het lutumgehalte en siltgehalte van belang (Tabel 2.3 en zie § 2.2.2.4). Van deze gehalten zijn geen analysegegevens beschikbaar en evenmin schattingen in de profielbeschrijvingen voor zand- en leemgronden. Van alle profielen is wel het leemgehalte bepaald, als gewogen gemiddelde van de leemgehalten in de lagen tot 90 cm –mv, waarbij de dikte van de lagen als weegfactor is gebruikt. Met behulp van textuurdriehoeken is een inschatting te maken van het lutum- en siltgehalte van bodems (zie Ten Cate *et al.*, 1995a). Uit het gemiddelde leemgehalte is via de relaties in Figuur 2.3 het lutumgehalte afgeleid. Het siltgehalte volgt dan uit het verschil tussen leem en lutum.



Figuur 2.3 Relatie tussen lutum- en leemgehalte in eolische en niet-eolische afzettingen.

2.2.2.3 Zuurgraad en pH-relaties

Voor verweringsberekeningen is de zuurgraad van belang waarvoor de pH-KCl is gebruikt, gemiddeld over de bovengrond en het gehele profiel (zie Tabel 2.3). Hiervoor is per laag de pH afgeleid en is op basis van de dikte van de lagen het gewogen gemiddelde bepaald. Voor lagen waar geen bodemonster beschikbaar is, is gebruikgemaakt van veldmetingen en anders van de berekende karakteristieken van de horizontgroepen. Van de 70 monsters waarvoor geen pH-KCl maar wel pH-H₂O beschikbaar was, is de pH-KCl aangevuld uit de relatie tussen beide op grond van monsters aanwezig in HumBase. Verder zijn op basis van een relatie tussen pH-veld en pH-KCl aanvullende schattingen gedaan voor pH-KCl in lagen waarin geen monster is genomen.

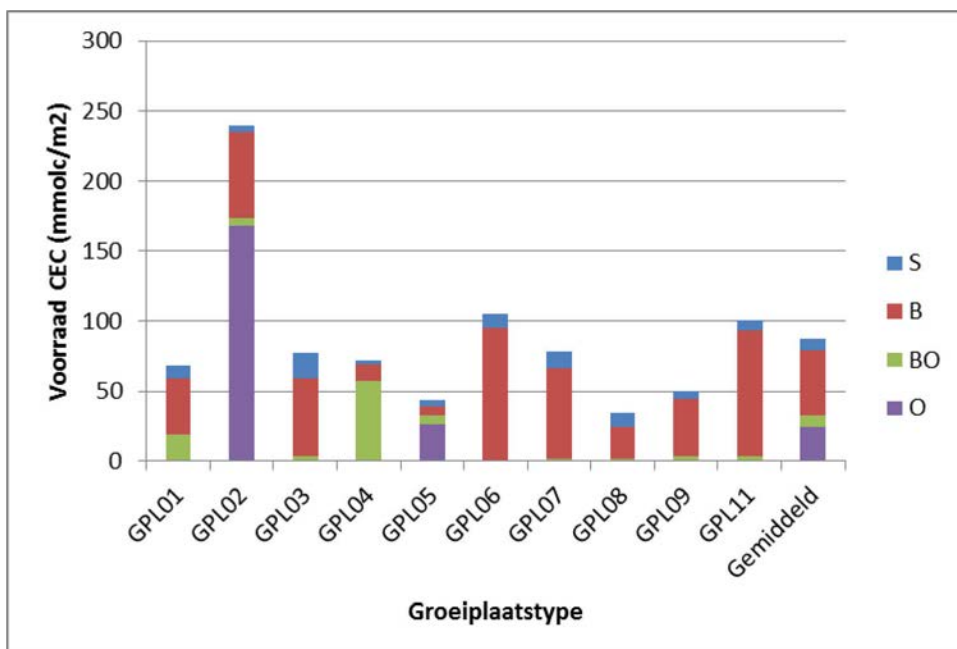
2.2.2.4 Zuurbuffer en uitwisselbare kationen

Het zuurbufferend vermogen is uitgedrukt in de kationenomwisselingscapaciteit (CEC; cmol+/kg). Naarmate deze groter is, zal de bodem beter in staat zijn schommelingen in zuurinput te bufferen. De CEC hangt af van het organische stofgehalte en het lutumgehalte van de bodem, omdat aan deze bodemdeeltjes positieve kationen geadsorbeerd worden en uitgewisseld kunnen worden tegen H⁺. De CEC is voor profielen waarin deze niet is gemeten, ingeschat op basis van vergelijking 1 die is afgeleid uit gegevens over de CEC van organische stof en lutum, beide uitgedrukt in % (Jansen *et al.*, 1990).

$$CEC = 0,65 \cdot \text{lutum} + 2 \cdot \text{os} \quad (\text{vergelijking 1})$$

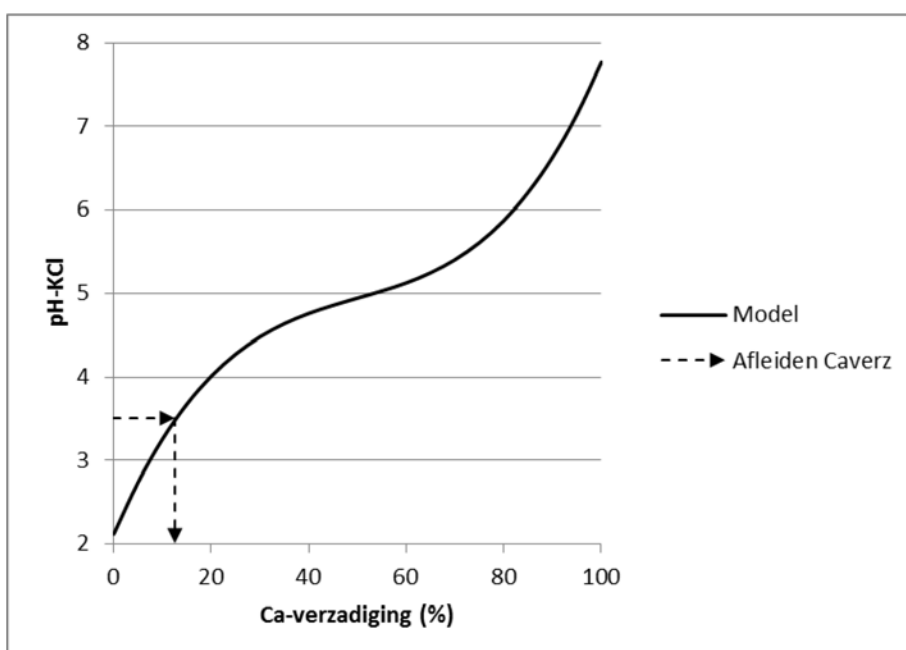
Indien kalkhoudend materiaal voorkomt, is de buffercapaciteit uiteraard hoger. Per procent kalk is de buffercapaciteit ongeveer 20 cmol+/kg. Dit wordt opgeteld bij de CEC die volgens vergelijking 1 is berekend.

De gemiddelde CEC, uitgedrukt in cmolc/m² is per groeiplaatstype en horizontgroep weergegeven in Figuur 2.4. Bij de meeste groeiplaatstypen draagt vooral het organische stofgehalte in de bovengrond (B) en de onderliggende overgangshorizonten (BO) bij aan de zuurbuffer. Bij wat dikkere strooisellagen is een deel van de CEC ook daarin te vinden. De ondergrond (O) speelt vooral een rol bij de lössleemgronden (GPL02) vanwege het hogere lutumgehalte en stuifzandgronden (GPL05), omdat deze een dunne bovengrond hebben en de ondergrond vaak wel enige organische stof bevat.



Figuur 2.4 Bijdrage per horizontgroep aan de totale CEC van het profiel, gemiddeld per groeiplaatstype. Voor groeiplaatstypen zie Tabel 2.1. S: strooisellaag; B: bovengronden; BO: overgangshorizonten; O: ondergrond.

Uitwisselbare kationen (Ca, Mg, K, vooral calcium) zijn van belang voor de zuurbuffer. Omdat deze kationen geadsorbeerd zijn aan bodemdeeltjes (lutum en organische stof), kunnen zij omgewisseld worden met waterstofionen. De calciumverzadiging is gedefinieerd als het deel van de CEC dat bezet is met calciumionen (in procenten). In Figuur 2.5 is deze relatie uitgezet. Omdat niet voor alle monsters de calciumbezetting (Ca-uitw) bekend is en ook niet voor alle horizontgroepen in alle groeiplaatstypen een karakteristieke waarde bepaald kon worden, zijn de ontbrekende waarden afgeleid uit deze relatie. Hiermee kan op basis van pH-KCl een inschatting van de calciumverzadiging gemaakt worden en met de CEC kan vervolgens de bijbehorende Ca-uitw berekend worden.



Figuur 2.5 Relatie tussen calciumverzadiging en pH-KCl, gebaseerd op een groot aantal bodemonsters uit het Alterra-archief.

Voor profielen waar geen analysegegevens van Mg-uitw en/of K-uitw beschikbaar zijn en deze ook niet afgeleid konden worden uit de karakteristieken per horizont in het groeiplaatstype, zijn relaties afgeleid met meervoudige lineaire regressie. Mg-uitw kan voorspeld worden uit CEC, Ca-uitw en humus ($r^2 = 79.3 \%$), voor K-uitw werd een model afgeleid met Ca-uitw en humus ($r^2 = 58.3 \%$).

2.2.2.5 Voorraden per profiel

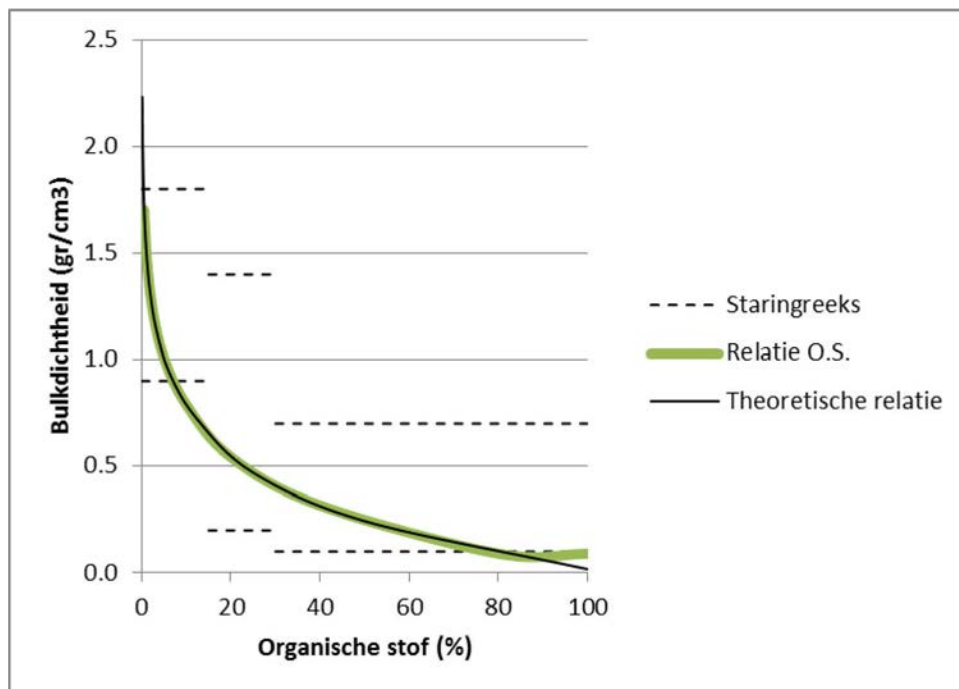
Voor de voorraden aan beschikbare elementen is gekeken naar de gehalten uitwisselbaar Ca, Mg en K per bodemlaag en de gehalten aan oxalaat extraheerbaar P per bodemlaag. Deze gehalten zijn uitgedrukt in g kg^{-1} en omgezet naar voorraden (in kg ha^{-1}) door te vermenigvuldigen met de bulkdichtheid en de dikte van de specifieke bodemlaag.

De bulkdichtheid (Bd) is afgeleid van het gemiddelde organische stofgehalte binnen de betreffende horizontgroep volgens de regressievergelijkingen (Kemmers & Van Delft, 2007):

Venige horizonten (% org. stof > 15%): $Bd = -0,326\text{Ln}(\% \text{Org. st}) + 1,519$ ($r^2 = 0,84$)

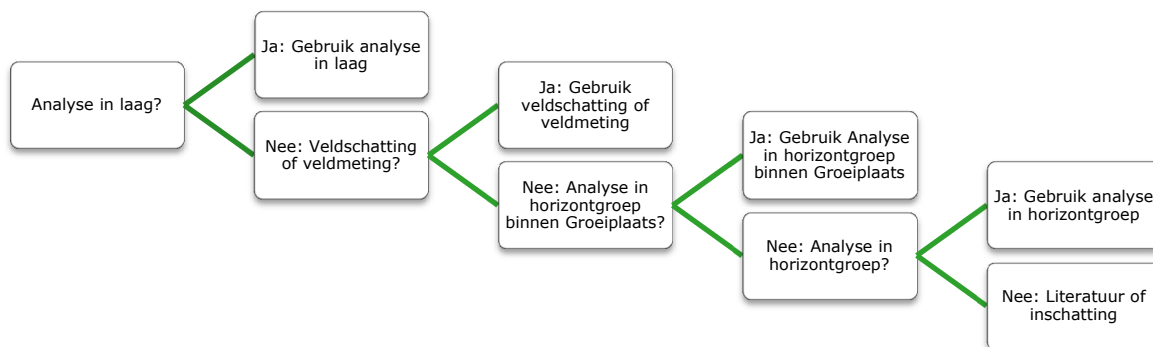
Minerale horizonten (% org. stof < 15%): $Bd = -0,312\text{Ln}(\% \text{Org. st}) + 1,507$ ($r^2 = 0,92$)

Over het algemeen passen deze waarden goed bij de waarden in de Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001; Figuur 2.6). Bij zeer lage en zeer hoge waarden voor organische stof levert dit echter onwaarschijnlijk hoge dan wel lage dichtheden op. Daarom wordt in de berekeningen bij organische stof < 0.5 % een maximale dichtheid van 1.7 g/cm^3 gehanteerd en bij > 80 % een minimale dichtheid van 0.09 g/cm^3 .



Figuur 2.6 Relatie tussen organische stofgehalte en bulkdichtheid, vergeleken met het bereik in de Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001).

Bij de bepaling van het organische stofgehalte per horizontgroep en de bepaling van de overige variabelen is – indien nodig – ook gebruikgemaakt van veldschattingen of de karakteristieken per horizont in het groeiplaatstype. Hiervoor is de beslisboom in Figuur 2.7 gehanteerd.



Figuur 2.7 Beslisboom voor het gebruik van referentiegegevens bij het bepalen van voorraden in het profiel.

Met behulp van deze direct of indirect verkregen gehalten en de bulkdichtheid per laag is de voorraad per laag berekend en vervolgens gesommeerd per profiel. De aldus bepaalde voorraden zijn weergegeven in Tabel 2.7.

Tabel 2.7

Medianen voorraden van nutriënten per groeiplaatstype (kg/ha).

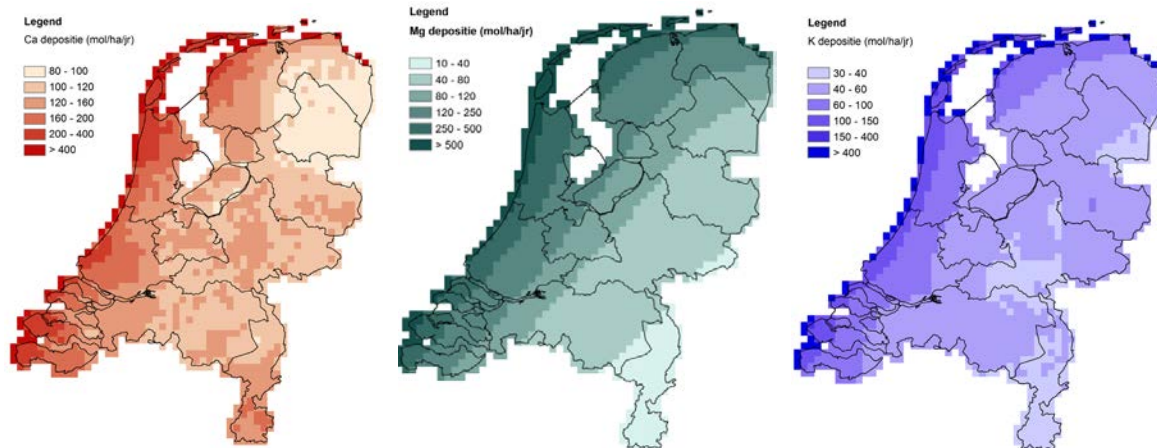
Groeiplaats	Ca	Mg	K	P
GPL01	1207	231	469	562
GPL02	1762	184	711	466
GPL03	1347	292	482	558
GPL04	3351	372	587	462
GPL05	1224	325	615	428
GPL06	200	180	250	579
GPL07	280	247	436	653
GPL08	303	307	437	619
GPL09	1045	290	470	533
GPL10	3214	397	592	605
GPL11	1443	254	463	2909

2.3 Depositie, verwerking en uitspoeling

2.3.1 Depositie

Kationen

De depositie van kationen op de Nederlandse bossen is sterk afhankelijk van de locatie in Nederland. In het algemeen geldt dat een belangrijk deel van de depositie afkomstig is van zeezouten, waardoor de depositie aan de kust ook meestal veel hoger is dan in het binnenland. In Figuur 2.8 is de depositie voor Ca, Mg en K weergegeven.



Figuur 2.8 Verdeling van atmosferische depositie van Ca (links), Mg (midden) en K (rechts) over Nederland (in mol/ha/jr). Bron: Van Jaarsveld, 2010.

Fosfor

De depositie van fosfor (P) is voor Nederland veel minder duidelijk in beeld dan voor kationen. In Nederland wordt P gemeten in het RIVM-regenwatermeetnet. De gemiddelde natte P-depositie is 105 g P/ha/jr, maar de variatie tussen meetpunten en tussen jaren is groot (10-250 g P/ha/jr). Echter een groot deel van de totale P-depositie is droge depositie. Zo geven Mahowald *et al.* (2008) een gemiddelde ratio voor totale P-depositie/natte P-depositie van 5.79. Dit zou betekenen dat de totale gemiddelde P-depositie ca. 605 g P/ha/jr is, met echter een grootte-onzekerheid tussen 50 en 1500 g P/ha/jr. Op Europese schaal zijn er schattingen van de totale P-depositie gedaan door Mahowald *et al.* (2008) op basis van metingen in Finland, Noorwegen, België en Frankrijk en in een literatuurstudie door Newman (1995). Deze onderzoeken geven respectievelijk een range van 0,02-1 kg P/ha/jr en 0,01-1 kg P/ha/jr. Deze ranges komen overeen met de range in P-depositie die wordt geschat voor Nederland.

Voor de nutriëntenbalansen zoals weergegeven in hoofdstuk 3 zijn de waarden voor de depositie in Tabel 2.8 gebruikt.

Tabel 2.8

Depositie van kationen en fosfor in Nederland.

Nutriënt	Depositie (kg/ha/jr)	Depositie (mol/ha/jr)
Calcium (Ca)	5.0	124
Magnesium (Mg)	2.8	117
Kalium (K)	2.0	52
Fosfor (P)	0.6	19

Voor Ca, Mg en K is dit de mediane depositie, zoals weergegeven in Figuur 2.8. Dit betekent dat er op lokaal niveau grote afwijkingen kunnen zijn van deze mediane waarden. Met name aan de kust is de depositie van kationen veel hoger. De depositie van P is gebaseerd op de metingen van het regenwatermeetnet en verhouding tussen natte en totale P-depositie (zie boven); ruimtelijk zal P-depositie veel minder variëren dan de depositie van kationen, maar de onzekerheid in de P-depositie is veel groter.

2.3.2 Verwerking

Kationen

Verwerking van kationen is afhankelijk van de hoeveelheid verweerbare mineralen in bodem en van de pH. Voor het laatste geldt dat verwerking toeneemt bij een afname van de pH. Voor de balansberekeningen hebben we de verwerking geschat op basis van de verweringsklassen van het model SMART (De Vries *et al.*, 1989). In dit model worden de verschillende bodemtypen onderverdeeld in verweringsklassen, waar een specifieke snelheid voor kationverwerking bij hoort. Daarnaast wordt voor de balansberekeningen de verwerkingssnelheid gecorrigeerd voor de gemiddelde pH van het betreffende groeiplaatstype volgens:

$$verwerking_{GPL} = verwerking_{ref} \cdot 10^{(pH_{ref} - pH_{GPL}) \cdot \alpha}$$

waarbij $verwerking_{GPL}$ is de verwerkingssnelheid voor de betreffende groeiplaats (kg/ha/jr); $verwerking_{REF}$ is de verwerkingssnelheid bij een referentie pH (kg/ha/jr); pH_{GPL} is de gemiddelde pH in het bodemvocht van een groeiplaatstype; pH_{ref} is de referentie pH in het bodemvocht; α is de factor die beschrijft hoe verwerking afhankelijk is van pH (-).

In Tabel 2.9 zijn de referentieverwerkingssnelheden en de referentie pH weergegeven voor de verschillende verweringsklassen. Daarnaast is weergegeven welke groeiplaatstypen bij een bepaalde verweringsklasse horen.

Tabel 2.9

Verwerkingssnelheden van kationen voor de verschillende verweringsklassen.

Verweringsklasse	Verweringsnelheid (bij pH_ref) (kg/ha/jr)			pH_ref	α	Groeiplaatstype
	Ca	Mg	K			
SP (basenarm zand)	1.2	0.9	2.0	3.7	0,5	3, 5, 6, 7, 8, 9
SR (basenrijk zand)	2.2	3.3	2.5	3.5	0,5	1, 11
L (leemgronden)	4.8	1.6	0.6	4.9	0,6	2
CS (kalkarme kleigronden met gem. 20% klei)	3.4	0.7	1.8	4.1	0,6	4, 10

Uit deze tabel blijkt dat sprake is van een redelijk grove indeling waarbij diverse groeiplaatstypen in één categorie terechtkomen. Verdere verschillen zijn alleen het gevolg van verschillen in voorraden (niet in balans).

Fosfor

Evenals bij depositie geldt ook voor verwerking dat er relatief weinig bekend is van aanvoer van beschikbaar P door verwerking. Newman (1995) geeft op basis van een literatuurstudie een range van 0,04-0,2 kg P/ha/jr voor Europa. In de balansberekeningen in dit rapport hebben we 0,1 kg P/ha/jr gebruikt.

2.3.3 Uitspoeling

Kationen

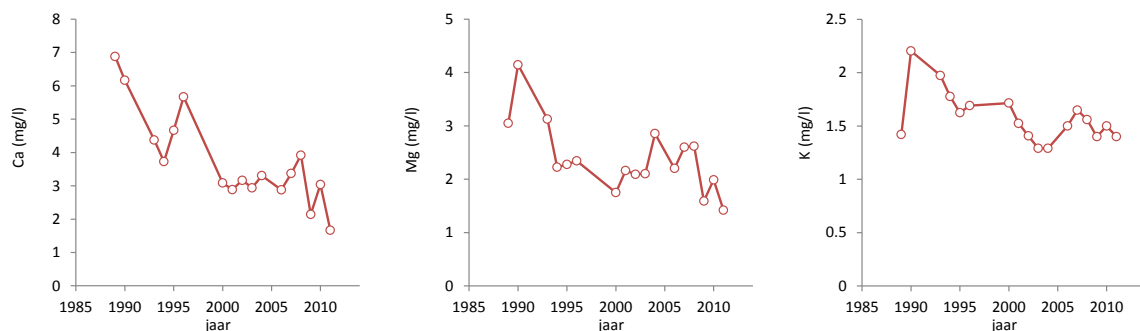
Uitspoeling van kationen is sterk gerelateerd aan de uitspoeling van verzurende stoffen, zoals sulfaat en nitraat. In onderzoeken van De Vries *et al.* (1995) en De Vries & Jansen (1994) is in detail gekeken naar de uitspoeling van kationen voor 148 bosopstanden in Nederland. Uitspoelingsfluxen zijn hier berekend op basis van gemeten concentraties in de bodemoplossing aan de onderzijde van de wortelzone (60-100 cm) en een schatting van het neerslagoverschot. Mediane concentraties en uitspoelingsfluxen zijn weergegeven in Tabel 2.10.

Tabel 2.10

Mediane concentraties en uitspoelingsfluxen van kationen onder bosopstanden voor de periode 1990-1995.

Element	Concentratie 1990 (meq/l)	Uitspoeling 1990 (kg/ha/jr)	Correctiefactor 1990- 2010	Uitspoeling huidig (kg/ha/jr)
calcium (Ca)	0.39	10.6	2.5	4.3
magnesium (Mg)	0.23	4.6	2.1	2.2
kalium (K)	0.10	5.9	1.5	3.9

Door een afname in de depositie van SO_4 is de uitspoeling van kation uit bosbodem sterk afgenomen. Metingen van concentraties van kationen in het bovenste grondwater in het Trendmeetnet Verzuring (Boumans *et al.*, 2014) laten dit duidelijk zien (zie Figuur 2.9).



Figuur 2.9 Concentraties van Ca (links), Mg (midden) en K (rechts) in het bovenste grondwater onder natuurgebieden. Bron: Boumans *et al.* (2014).

Voor de balansberekeningen zijn de uitspoelingsvrachten uit Tabel 2.10 vermenigvuldigd met de ratio van gemiddelde concentraties voor 1998-1993 en gemiddelde concentraties voor 2009-2011. De correctiefactoren en de geschatte huidige uitspoeling zijn ook weergegeven in Tabel 2.10.

Fosfor

Evenals naar depositie en verwerking is ook naar de uitspoeling van P veel minder onderzoek gedaan in vergelijking met de uitspoeling van kationen. In onderzoek van De Vries & Leeters (2001) zijn mediane P-concentraties onder 150 bosopstanden gemeten 0,06 mg P/l. Op basis van een neerslagoverschot van is een P-uitspoeling van 0,12 kg P/ha/jr geschat.

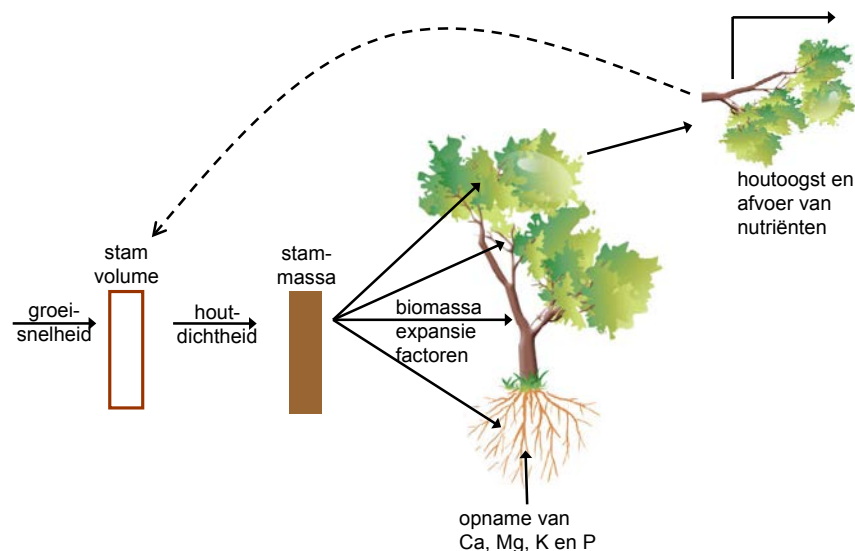
2.4 Opname en afvoer van nutriënten

2.4.1 Modelbeschrijving

De afvoer van nutriënten door afvoer van biomassa is berekend op basis van:

- standaard groei- en oogsttabellen voor verschillende boomsoorten en verschillende groeiklassen van deze boomsoorten;
- expansiefactoren die het stamvolume vertalen naar massa van de verschillende boomcompartimenten (stammen, takken, bladeren/naalden);
- gehalten van nutriënten in de verschillende boomcompartimenten;
- drie verschillende oogstscenario's met oplopende intensiteit van biomassa-afvoer.

Voor de berekening van de afvoer zoals hierboven beschreven, is het model GrowUp (Bonten *et al.*, 2012) gebruikt, schematisch weergegeven in Figuur 2.10. Het model bevat voor een groot aantal boomsoorten standaardwaarden voor de expansiefactoren die gebaseerd zijn op Vilen *et al.* (2005).



Figuur 2.10 Schematische weergave van het model GrowUp voor de opname en afvoer van nutriënten.

2.4.2 Boomsoorten

Het model is doorgerekend voor zes boomsoorten: eik, beuk, grove den, es, douglas en lariks. Er is gekozen voor de belangrijkste productieboomsoorten op de zandgronden, aangevuld met es voor de rijkere gronden. Lariks is verder gekozen, omdat die naaldverliezend is; oogst van takken met of zonder naalden geeft verschillende resultaten. De selectie van soorten (eik, beuk, grove den, es, douglas, lariks) omvat een belangrijk deel van de variatie aan boomtypen in Nederland. De nutriëntgehalten in de verschillende boomcompartimenten zijn weergegeven in Tabel 2.11.

Tabel 2.11

Gehalten van Ca, Mg, K en P in takken, stammen en bladeren van verschillende boomsoorten.

Boom	Compartment	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	P (%)
eik	takken	0,286	0,019	0,125	0,016
	stammen	0,639	0,050	0,219	0,058
	bladeren	1,066	0,208	0,832	0,188
beuk	takken	0,138	0,025	0,104	0,013
	stammen	0,381	0,033	0,156	0,045
	bladeren	0,787	0,124	0,832	0,146
es	takken	0,108	0,013	0,059	0,012
	stammen	0,440	0,00	0,150	0,046
	bladeren	0,937	0,263	1,057	0,249
grove den	takken	0,098	0,022	0,063	0,013
	stammen	0,292	0,072	0,171	0,034
	naalden	0,417	0,089	0,526	0,132
douglas	takken	0,120	0,020	0,073	0,015
	stammen	0,292	0,101	0,225	0,054
	naalden	0,590	0,098	0,570	0,146
lariks	takken	0,120	0,020	0,073	0,015
	stammen	0,292	0,101	0,225	0,054
	naalden	0,590	0,098	0,570	0,146

Bronnen: Bauer *et al.*, 1997; Jacobsen *et al.*, 2002; Meerts, 2002; Hagen-Thorn *et al.*, 2004; Whittaker *et al.*, 1979; Reichle, 1981; Andre, 2003.

2.4.3 Oogstscenario's en groeiklassen

Er zijn voor de geselecteerde boomsoorten drie beheersscenario's doorerekend:

- Stam: alleen oogst van stamhout. Dit referentiescenario betreft de oogst met bijbehorende nutriëntenbalansen bij het huidige, min of meer gangbare, bosbeheer.
- Eindkap: oogst van stamhout plus de oogst van takhout bij de eindkap. Dit scenario betreft de oogst met bijbehorende nutriëntenbalansen dat voor oogst van takhout op korte tot middellange termijn financieel het meest aantrekkelijk lijkt.
- Altijd: oogst van stamhout met daarbij zowel bij dunningen als bij eindkap de oogst van takhout. Dit scenario betreft de oogst met bijbehorende nutriëntenbalansen bij een forse intensivering van het beheer met oogst van takhout.

Bij de bovenstaande scenario's dient bedacht te worden dat ook door het variëren van de omlooptijden de oogst en de nutriënten geïntensiveerd of geëxtensiveerd kunnen worden. Door bij het scenario 'eindkap' de omlooptijd te verlengen nemen de gemiddelde bijgroei en oogst van stamhout over de omloop af, en wordt ook de oogst van het takhout door een groter aantal jaren gedeeld. Het scenario 'altijd' kan analoog daaraan verder geïntensiveerd worden door kortere omlopen te hanteren.

In het project is aanvankelijk groeiverwachting via opbrengsttabellen gekoppeld aan groeiplaatstype volgens de Stiboka-methode (zie Bijlage 1), maar deze relaties bleken te variabel en deels te subtiel om in het model te kunnen gebruiken, ook vanwege de op ecologische (vegetatiekundige) overwegingen onderscheiden groeiplaatstypen (zie ook Bijlage 2, § B2.6). Er is uiteindelijk voor iedere groeiplaats een brede range aan groeiklassen doorerekend (zie Bijlage 2), omdat op voorhand voor een gegeven groeiplaats (bodemtype) niet goed is in te schatten welke groeiklasse realistisch is. Een deel van deze range zal in de praktijk niet voorkomen. In Bijlage 2, Tabel B2.6 is aangegeven welke combinaties van groeiverwachtingen en groeiplaats verwacht kunnen worden.

Voor toepassing van de nutriëntenbalansen voor een specifieke locatie kan het best voor die locatie de groeiklasse bepaald worden door meting in het veld (zie ook Bijlage 1, § B1.8) en vergeleken worden met de nutriëntenbalansen van het bijbehorende groeiplaatstype.

3 Resultaten

3.1 Nutriëntbalansen in bossen

Op basis van de geschatte aanvoer en afvoer van nutriënten zoals beschreven in § 2.3 en 2.4 is een elementbalans berekend voor elke combinatie van boomsoort, groeiklasse, oogstscenario, groeiplaats en element. Een voorbeeld voor Ca bij oogst van alleen stammen voor beuk is weergegeven in Tabel 3.1. Door middel van de kleuren rood, groen en oranje is aangegeven of de balans negatief is (rood) of positief (groen) is. Hierbij is een onzekerheidsmarge van 30% aangehouden (voor P 50%). Indien een positieve dan wel negatieve balans kleiner is dan deze 30% van de aanvoer, is het betreffende resultaat met oranje weergegeven. De volledige balanstabellen zijn opgenomen als Tabel 3.2-3.5.

Over de onzekerheden in de aanvoer- en afvoertermen van de nutriëntenbalansen wordt ingegaan in § 4.1. Voor de berekening van de relatieve onzekerheid zoals in Tabel 3.1 is uitgegaan van een onzekerheid van 20% in de depositie, uitspoeling en nutriëntgehalten in boomcompartimenten en van een onzekerheid van 100% in de verwerkingssnelheid.

Tabel 3.1

Voorbeeldbalans van Ca, bij oogst van stamhout van beuk voor verschillende groeiklassen (4, 6, 8, 10 en 12 m³/ha/jr) en groeiplaatsstypen (1-4, vergelijk Tabel 2.2). Balans in (kg/ha/jr). Rood: balans > 30% negatief ten opzichte van de aanvoer; Groen: balans > 30% positief ten opzichte van de aanvoer; Oranje: positieve of negatieve balans < 30% van de aanvoer.

Boomsoort	Groeiklasse (m ³ /ha/jr)	Scenario	Groeiplaats			
			1	2	3	4
Beuk	4	stam	-1.0	5.5	-1.3	5.8
Beuk	6	stam	-2.7	3.8	-3.0	4.1
Beuk	8	stam	-4.3	2.2	-4.7	2.4
Beuk	10	stam	-5.9	0.6	-6.2	0.9
Beuk	12	stam	-7.4	-0.9	-7.8	-0.7

De genoemde onzekerheden betreffen de mediane waarden van de aanvoer- en afvoertermen zoals opgenomen in § 2.3 en 2.4. Voor een willekeurige opstand in Nederland zullen de onzekerheden groter zijn. Echter, er is waarschijnlijk een relatie tussen aan- en afvoer, omdat verwacht mag worden dat nutriëntgehalten in boomcompartiment lager zullen zijn bij een lagere beschikbaarheid van de betreffende nutriënten.

De balanstabellen 3.2-3.5 laten voor alle nutriënten zien dat bij een intensievere houtoogst voor een groter deel van de scenario's een negatieve balans wordt berekend. Echter, de verschillen tussen de drie oogstscenario's zijn niet heel groot. Opvallender zijn de verschillen tussen de afzonderlijke nutriënten. Voor Mg wordt er slechts in enkele gevallen een negatieve balans berekend, terwijl voor K al bij oogst van alleen stamhout voor veel gevallen een duidelijk negatieve balans wordt berekend. Dit is opvallend, omdat oogst van alleen stammen de huidige praktijk is, wat zou betekenen dat ook bij de huidige houtoogst de bodem voor K al in veel gevallen wordt uitgeput. Voor P zijn de verschillen tussen de scenario's veel minder zichtbaar, vanwege de grotere onzekerheid in de balansen van P.

In de balanstabellen is nog geen rekening gehouden met het feit dat niet alle groeiklassen voor zullen komen op alle gronden. Met name hoge groeiszenario's op arme gronden (en andersom) zullen in de praktijk niet voorkomen. In Bijlage 2, Tabel B2.6 is aangegeven welke combinaties van groeiverwachtingen en groeiplaats verwacht kunnen worden.

Ten slotte zijn in de balanstabellen ook de verschillen tussen de groeiplaatsen duidelijk zichtbaar. De groeiplaatsen met leem- of kleigronden (GPL 2, 4 en 10) laten in veel minder gevallen een duidelijk negatieve balans zien van Ca, Mg en K. De reden hiervoor is dat voor deze groeiplaatsen een veel hogere aanvoer van kationen door verwerking is geschat dan de overige groeiplaatsen op zandgronden (zie ook Tabel 2.9). De verschillen tussen rijkere en armere zandgronden zijn niet duidelijk zichtbaar in de balanstabellen.

Tabel 3.2

Ca-balans (in kg/ha/jr). Voor toelichting zie Tabel 3.1.

Calcium (Ca)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Boomsort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	stam	-1.0	5.5	-1.3	5.8	-1.3	-1.2	-1.1	-1.5	-1.5	3.8	0.6
Beuk	6	stam	-2.7	3.8	-3.0	4.1	-3.0	-2.9	-2.8	-3.2	-3.2	2.1	-1.1
Beuk	8	stam	-4.3	2.2	-4.7	2.4	-4.6	-4.6	-4.5	-4.9	-4.8	0.4	-2.8
Beuk	10	stam	-5.9	0.6	-6.2	0.9	-6.2	-6.1	-6.0	-6.4	-6.4	-1.2	-4.3
Beuk	12	stam	-7.4	-0.9	-7.8	-0.7	-7.7	-7.7	-7.6	-8.0	-7.9	-2.7	-5.9
Douglas	8	stam	-0.9	5.6	-1.3	5.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.5	-1.4	3.8	0.6
Douglas	10	stam	-1.6	4.9	-2.0	5.1	-1.9	-1.9	-1.8	-2.2	-2.1	3.1	-0.1
Douglas	12	stam	-2.7	3.8	-3.0	4.1	-3.0	-2.9	-2.9	-3.3	-3.2	2.0	-1.2
Douglas	14	stam	-3.5	3.0	-3.8	3.3	-3.8	-3.7	-3.6	-4.0	-4.0	1.3	-1.9
Douglas	16	stam	-4.2	2.3	-4.6	2.5	-4.5	-4.5	-4.4	-4.8	-4.7	0.5	-2.7
Eik	4	stam	-4.5	2.0	-4.8	2.3	-4.8	-4.7	-4.6	-5.0	-5.0	0.2	-2.9
Eik	6	stam	-7.7	-1.2	-8.1	-0.9	-8.0	-7.9	-7.9	-8.3	-8.2	-3.0	-6.2
Eik	8	stam	-10.9	-4.4	-11.2	-4.1	-11.2	-11.1	-11.0	-11.4	-11.4	-6.2	-9.3
Es	6	stam	0.0	6.5	-0.4	6.8	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.5	4.7	1.5
Es	8	stam	-0.7	5.8	-1.0	6.1	-1.0	-0.9	-0.9	-1.3	-1.2	4.0	0.8
Es	9	stam	-1.1	5.5	-1.4	5.7	-1.4	-1.3	-1.2	-1.6	-1.5	3.7	0.5
Es	10	stam	-1.5	5.0	-1.9	5.3	-1.8	-1.7	-1.7	-2.1	-2.0	3.2	0.0
Grove den	4	stam	0.8	7.3	0.5	7.6	0.5	0.6	0.7	0.3	0.3	5.6	2.4
Grove den	6	stam	0.2	6.8	-0.1	7.0	0.0	0.0	0.1	-0.3	-0.2	5.0	1.8
Grove den	8	stam	-0.5	6.1	-0.8	6.3	-0.8	-0.7	-0.6	-1.0	-0.9	4.3	1.1
Grove den	10	stam	-1.1	5.5	-1.4	5.7	-1.3	-1.3	-1.2	-1.6	-1.5	3.7	0.5
Grove den	12	stam	-1.7	4.9	-2.0	5.1	-1.9	-1.9	-1.8	-2.2	-2.1	3.1	-0.1
Larix	6	stam	0.0	6.5	-0.3	6.8	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.5	4.7	1.5
Larix	8	stam	-0.7	5.9	-1.0	6.1	-1.0	-0.9	-0.8	-1.2	-1.2	4.1	0.9
Larix	10	stam	-1.3	5.2	-1.6	5.5	-1.6	-1.5	-1.5	-1.9	-1.8	3.4	0.2
Larix	12	stam	-1.9	4.6	-2.3	4.8	-2.2	-2.2	-2.1	-2.5	-2.4	2.8	-0.4
Larix	14	stam	-2.6	3.9	-2.9	4.2	-2.9	-2.8	-2.7	-3.1	-3.1	2.2	-1.0
Boomsort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	eindkap	-1.8	4.8	-2.1	5.0	-2.1	-2.0	-1.9	-2.3	-2.2	3.0	-0.2
Beuk	6	eindkap	-3.7	2.8	-4.1	3.1	-4.0	-3.9	-3.9	-4.3	-4.2	1.0	-2.2
Beuk	8	eindkap	-5.6	0.9	-5.9	1.2	-5.9	-5.8	-5.7	-6.1	-6.1	-0.8	-4.0
Beuk	10	eindkap	-7.3	-0.8	-7.7	-0.6	-7.6	-7.6	-7.5	-7.9	-7.8	-2.6	-5.8
Beuk	12	eindkap	-9.0	-2.5	-9.3	-2.2	-9.3	-9.2	-9.2	-9.6	-9.5	-4.3	-7.5
Douglas	8	eindkap	-1.6	5.0	-1.9	5.2	-1.9	-1.8	-1.7	-2.1	-2.1	3.2	0.0
Douglas	10	eindkap	-2.4	4.2	-2.7	4.4	-2.7	-2.6	-2.5	-2.9	-2.9	2.4	-0.8
Douglas	12	eindkap	-3.6	2.9	-3.9	3.2	-3.9	-3.8	-3.7	-4.1	-4.1	1.2	-2.0
Douglas	14	eindkap	-4.4	2.1	-4.8	2.3	-4.7	-4.7	-4.6	-5.0	-4.9	0.3	-2.9
Douglas	16	eindkap	-5.3	1.2	-5.6	1.5	-5.6	-5.5	-5.4	-5.8	-5.8	-0.5	-3.7
Eik	4	eindkap	-5.8	0.8	-6.1	1.0	-6.1	-6.0	-5.9	-6.3	-6.2	-1.0	-4.2
Eik	6	eindkap	-9.4	-2.8	-9.7	-2.6	-9.7	-9.6	-9.5	-9.9	-9.8	-4.6	-7.8
Eik	8	eindkap	-12.9	-6.3	-13.2	-6.1	-13.2	-13.1	-13.0	-13.4	-13.4	-8.1	-11.3
Es	6	eindkap	-0.8	5.8	-1.1	6.0	-1.1	-1.0	-0.9	-1.3	-1.3	4.0	0.8
Es	8	eindkap	-1.6	4.9	-2.0	5.1	-1.9	-1.9	-1.8	-2.2	-2.1	3.1	-0.1
Es	9	eindkap	-2.1	4.5	-2.4	4.7	-2.4	-2.3	-2.2	-2.6	-2.5	2.7	-0.5
Es	10	eindkap	-2.6	3.9	-2.9	4.2	-2.9	-2.8	-2.8	-3.2	-3.1	2.1	-1.1
Grove den	4	eindkap	0.5	7.0	0.2	7.3	0.2	0.3	0.3	-0.1	0.0	5.2	2.0
Grove den	6	eindkap	-0.2	6.3	-0.5	6.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.7	-0.7	4.5	1.4
Grove den	8	eindkap	-1.0	5.5	-1.3	5.8	-1.3	-1.2	-1.2	-1.6	-1.5	3.7	0.5
Grove den	10	eindkap	-1.7	4.8	-2.0	5.1	-2.0	-1.9	-1.8	-2.2	-2.2	3.1	-0.1
Grove den	12	eindkap	-2.4	4.2	-2.7	4.4	-2.7	-2.6	-2.5	-2.9	-2.8	2.4	-0.8
Larix	6	eindkap	-0.2	6.3	-0.6	6.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.8	-0.7	4.5	1.3
Larix	8	eindkap	-0.9	5.6	-1.3	5.9	-1.2	-1.1	-1.1	-1.5	-1.4	3.8	0.6
Larix	10	eindkap	-1.6	4.9	-1.9	5.2	-1.9	-1.8	-1.7	-2.1	-2.1	3.1	0.0
Larix	12	eindkap	-2.3	4.3	-2.6	4.5	-2.6	-2.5	-2.4	-2.8	-2.8	2.5	-0.7
Larix	14	eindkap	-2.9	3.6	-3.3	3.8	-3.2	-3.2	-3.1	-3.5	-3.4	1.8	-1.4
Boomsort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	altijd	-2.4	4.1	-2.7	4.4	-2.7	-2.6	-2.6	-3.0	-2.9	2.3	-0.9
Beuk	6	altijd	-4.9	1.6	-5.2	1.9	-5.2	-5.1	-5.0	-5.4	-5.4	-0.1	-3.3
Beuk	8	altijd	-7.3	-0.8	-7.6	-0.5	-7.6	-7.5	-7.4	-7.8	-7.8	-2.6	-5.7
Beuk	10	altijd	-9.6	-3.1	-9.9	-2.8	-9.9	-9.8	-9.7	-10.1	-10.1	-4.8	-8.0
Beuk	12	altijd	-11.8	-5.3	-12.2	-5.1	-12.1	-12.1	-12.0	-12.4	-12.3	-7.1	-10.3
Douglas	8	altijd	-2.4	4.1	-2.8	4.3	-2.7	-2.7	-2.6	-3.0	-2.9	2.3	-0.9
Douglas	10	altijd	-3.5	3.0	-3.9	3.2	-3.8	-3.8	-3.7	-4.1	-4.0	1.2	-2.0
Douglas	12	altijd	-5.6	0.9	-5.9	1.2	-5.9	-5.8	-5.7	-6.1	-6.1	-0.8	-4.0
Douglas	14	altijd	-6.9	-0.4	-7.2	-0.1	-7.2	-7.1	-7.1	-7.5	-7.4	-2.2	-5.4
Douglas	16	altijd	-8.2	-1.7	-8.6	-1.5	-8.5	-8.5	-8.4	-8.8	-8.7	-3.5	-6.7
Eik	4	altijd	-7.0	-0.4	-7.3	-0.2	-7.2	-7.2	-7.1	-7.5	-7.4	-2.2	-5.4
Eik	6	altijd	-11.4	-4.8	-11.7	-4.6	-11.7	-11.6	-11.5	-11.9	-11.9	-6.6	-9.8
Eik	8	altijd	-15.7	-9.2	-16.1	-9.0	-16.0	-16.0	-15.9	-16.3	-16.2	-11.0	-14.2
Es	6	altijd	-1.4	5.1	-1.8	5.3	-1.7	-1.7	-1.6	-2.0	-1.9	3.3	0.1
Es	8	altijd	-2.6	3.9	-2.9	4.2	-2.9	-2.8	-2.7	-3.1	-3.1	2.1	-1.0
Es	9	altijd	-3.2	3.3	-3.5	3.6	-3.5	-3.4	-3.3	-3.7	-3.7	1.6	-1.6
Es	10	altijd	-3.9	2.6	-4.2	2.9	-4.2	-4.1	-4.0	-4.4	-4.4	0.9	-2.3
Grove den	4	altijd	0.0	6.5	-0.3	6.8	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.5	4.7	1.5
Grove den	6	altijd	-0.9	5.6	-1.3	5.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.5	-1.4	3.8	0.6
Grove den	8	altijd	-2.3	4.3	-2.6	4.5	-2.5	-2.5	-2.4	-2.8	-2.7	2.5	-0.7
Grove den	10	altijd	-3.3	3.2	-3.7	3.4	-3.6	-3.6	-3.5	-3.9	-3.8	1.4	-1.8
Grove den	12	altijd	-4.5	2.1	-4.8	2.3	-4.8	-4.7	-4.6	-5.0	-4.9	0.3	-2.9
Larix	6	altijd	-0.6	5.9	-0.9	6.2	-0.9	-0.8	-0.7	-1.1	-1.1	4.1	1.0
Larix	8	altijd	-1.5	5.0	-1.8	5.3	-1.8	-1.7	-1.6	-2.0	-2.0	3.3	0.1
Larix	10	altijd	-2.4	4.2	-2.7	4.4	-2.7	-2.6	-2.5	-2.9	-2.9	2.4	-0.8
Larix	12	altijd	-3.3	3.3	-3.6	3.5	-3.5	-3.5	-3.4	-3.8	-3.7	1.5	-1.7
Larix	14	altijd	-4.1	2.4	-4.5	2.6	-4.4	-4.4	-4.3	-4.7	-4.6	0.6	-2.6

Tabel 3.3

Mg-balans (in kg/ha/jr). Voor toelichting zie Tabel 3.1.

Magnesium (Mg)													
Boomsoort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	stam	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.8	2.2	4.5
Beuk	6	stam	1.9	1.3	0.6	2.6	0.6	0.7	0.7	0.4	0.5	1.9	4.2
Beuk	8	stam	1.6	1.0	0.3	2.3	0.3	0.4	0.4	0.1	0.2	1.6	3.9
Beuk	10	stam	1.3	0.7	0.0	2.0	0.0	0.1	0.1	-0.2	-0.1	1.3	3.6
Beuk	12	stam	1.0	0.4	-0.3	1.7	-0.2	-0.2	-0.1	-0.4	-0.4	1.0	3.3
Douglas	8	stam	2.2	1.7	0.9	2.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	2.2	4.5
Douglas	10	stam	2.1	1.5	0.8	2.8	0.9	0.9	1.0	0.7	0.7	2.1	4.4
Douglas	12	stam	1.9	1.4	0.7	2.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.5	1.9	4.2
Douglas	14	stam	1.8	1.2	0.5	2.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.4	1.8	4.1
Douglas	16	stam	1.7	1.1	0.4	2.4	0.4	0.5	0.5	0.2	0.3	1.7	4.0
Eik	4	stam	2.3	1.7	1.0	3.0	1.0	1.1	1.2	0.9	0.9	2.3	4.6
Eik	6	stam	2.1	1.5	0.8	2.8	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	2.1	4.4
Eik	8	stam	1.9	1.3	0.6	2.6	0.6	0.7	0.7	0.4	0.5	1.9	4.2
Es	6	stam	2.5	1.9	1.2	3.2	1.2	1.3	1.3	1.0	1.1	2.5	4.8
Es	8	stam	2.4	1.8	1.1	3.1	1.1	1.2	1.3	1.0	1.0	2.4	4.7
Es	9	stam	2.3	1.8	1.1	3.0	1.1	1.2	1.2	0.9	1.0	2.4	4.7
Es	10	stam	2.3	1.7	1.0	3.0	1.0	1.1	1.2	0.9	0.9	2.3	4.6
Grove den	4	stam	2.4	1.9	1.2	3.1	1.2	1.2	1.3	1.0	1.0	2.4	4.8
Grove den	6	stam	2.3	1.8	1.0	3.0	1.1	1.1	1.2	0.9	0.9	2.3	4.6
Grove den	8	stam	2.2	1.6	0.9	2.8	0.9	1.0	1.0	0.7	0.8	2.2	4.5
Grove den	10	stam	2.0	1.5	0.7	2.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.6	2.0	4.3
Grove den	12	stam	1.9	1.3	0.6	2.6	0.6	0.7	0.8	0.5	0.5	1.9	4.2
Larix	6	stam	2.4	1.8	1.1	3.1	1.1	1.2	1.2	0.9	1.0	2.4	4.7
Larix	8	stam	2.3	1.7	1.0	3.0	1.0	1.1	1.1	0.8	0.9	2.3	4.6
Larix	10	stam	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.8	2.2	4.5
Larix	12	stam	2.1	1.5	0.8	2.7	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	2.1	4.4
Larix	14	stam	1.9	1.4	0.7	2.6	0.7	0.8	0.8	0.5	0.6	2.0	4.3
Boomsoort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	eindkap	2.1	1.5	0.8	2.8	0.9	0.9	1.0	0.7	0.7	2.1	4.4
Beuk	6	eindkap	1.8	1.2	0.5	2.5	0.5	0.6	0.6	0.3	0.4	1.8	4.1
Beuk	8	eindkap	1.5	0.9	0.2	2.2	0.2	0.3	0.3	0.0	0.1	1.5	3.8
Beuk	10	eindkap	1.2	0.6	-0.1	1.9	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.2	1.2	3.5
Beuk	12	eindkap	0.9	0.3	-0.4	1.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.6	-0.5	0.9	3.2
Douglas	8	eindkap	2.1	1.5	0.8	2.7	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	2.1	4.4
Douglas	10	eindkap	1.9	1.4	0.6	2.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.5	1.9	4.2
Douglas	12	eindkap	1.7	1.1	0.4	2.4	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3	1.7	4.0
Douglas	14	eindkap	1.5	1.0	0.3	2.2	0.3	0.4	0.4	0.1	0.2	1.6	3.9
Douglas	16	eindkap	1.4	0.8	0.1	2.1	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0	1.4	3.7
Eik	4	eindkap	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.1	0.8	0.8	2.2	4.5
Eik	6	eindkap	1.9	1.4	0.7	2.6	0.7	0.8	0.8	0.5	0.6	2.0	4.3
Eik	8	eindkap	1.7	1.2	0.4	2.4	0.5	0.5	0.6	0.3	0.3	1.7	4.0
Es	6	eindkap	2.4	1.8	1.1	3.1	1.2	1.2	1.3	1.0	1.0	2.4	4.7
Es	8	eindkap	2.3	1.7	1.0	3.0	1.1	1.1	1.2	0.9	0.9	2.3	4.6
Es	9	eindkap	2.3	1.7	1.0	3.0	1.0	1.1	1.1	0.8	0.9	2.3	4.6
Es	10	eindkap	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.1	0.8	0.8	2.2	4.5
Grove den	4	eindkap	2.4	1.8	1.1	3.1	1.1	1.2	1.2	0.9	1.0	2.4	4.7
Grove den	6	eindkap	2.2	1.6	0.9	2.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	2.2	4.5
Grove den	8	eindkap	2.0	1.5	0.7	2.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.6	2.0	4.3
Grove den	10	eindkap	1.9	1.3	0.6	2.6	0.6	0.7	0.7	0.4	0.5	1.9	4.2
Grove den	12	eindkap	1.7	1.2	0.4	2.4	0.5	0.5	0.6	0.3	0.3	1.7	4.0
Larix	6	eindkap	2.3	1.7	1.0	3.0	1.1	1.1	1.2	0.9	0.9	2.3	4.6
Larix	8	eindkap	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.8	2.2	4.5
Larix	10	eindkap	2.1	1.5	0.8	2.8	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	2.1	4.4
Larix	12	eindkap	1.9	1.4	0.7	2.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.5	1.9	4.3
Larix	14	eindkap	1.8	1.3	0.6	2.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.4	1.8	4.1
Boomsoort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	altijd	2.0	1.5	0.8	2.7	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	2.1	4.4
Beuk	6	altijd	1.7	1.1	0.4	2.4	0.4	0.5	0.5	0.2	0.3	1.7	4.0
Beuk	8	altijd	1.3	0.7	0.0	2.0	0.1	0.1	0.2	-0.1	-0.1	1.3	3.6
Beuk	10	altijd	1.0	0.4	-0.3	1.7	-0.3	-0.2	-0.2	-0.5	-0.4	1.0	3.3
Beuk	12	altijd	0.6	0.1	-0.6	1.3	-0.6	-0.6	-0.5	-0.8	-0.8	0.6	2.9
Douglas	8	altijd	1.8	1.3	0.6	2.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.5	1.8	4.2
Douglas	10	altijd	1.6	1.1	0.4	2.3	0.4	0.4	0.5	0.2	0.2	1.6	4.0
Douglas	12	altijd	1.2	0.7	-0.1	1.9	0.0	0.0	0.1	-0.2	-0.2	1.2	3.5
Douglas	14	altijd	1.0	0.4	-0.3	1.7	-0.3	-0.2	-0.2	-0.5	-0.4	1.0	3.3
Douglas	16	altijd	0.7	0.1	-0.6	1.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.7	-0.7	0.7	3.0
Eik	4	altijd	2.1	1.5	0.8	2.8	0.9	0.9	1.0	0.7	0.7	2.1	4.4
Eik	6	altijd	1.8	1.2	0.5	2.5	0.5	0.6	0.7	0.4	0.4	1.8	4.1
Eik	8	altijd	1.5	0.9	0.2	2.2	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	1.5	3.8
Es	6	altijd	2.3	1.8	1.1	3.0	1.1	1.2	1.2	0.9	1.0	2.3	4.7
Es	8	altijd	2.2	1.7	0.9	2.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	2.2	4.5
Es	9	altijd	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.8	2.2	4.5
Es	10	altijd	2.1	1.5	0.8	2.8	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	2.1	4.4
Grove den	4	altijd	2.2	1.7	1.0	2.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	2.2	4.6
Grove den	6	altijd	2.0	1.5	0.7	2.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.6	2.0	4.3
Grove den	8	altijd	1.7	1.2	0.4	2.4	0.5	0.5	0.6	0.3	0.3	1.7	4.0
Grove den	10	altijd	1.5	0.9	0.2	2.2	0.2	0.3	0.3	0.0	0.1	1.5	3.8
Grove den	12	altijd	1.2	0.6	-0.1	1.9	0.0	0.0	0.1	-0.2	-0.2	1.2	3.5
Larix	6	altijd	2.2	1.6	0.9	2.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.8	2.2	4.5
Larix	8	altijd	2.0	1.4	0.7	2.7	0.7	0.8	0.9	0.6	0.6	2.0	4.3
Larix	10	altijd	1.8	1.2	0.5	2.5	0.5	0.6	0.7	0.4	0.4	1.8	4.1
Larix	12	altijd	1.6	1.0	0.3	2.3	0.4	0.4	0.5	0.2	0.2	1.6	3.9
Larix	14	altijd	1.4	0.9	0.1	2.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	1.4	3.7

Tabel 3.4

K-balans (in kg/ha/jr). Voor toelichting zie Tabel 3.1.

Kalium (K)													
Boomsort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Douglas	4	stam	-2.6	0.0	-2.5	-3.2	-2.4	-2.3	-2.2	-2.8	-2.8	-3.5	-0.8
Beuk	6	stam	-3.9	-1.3	-3.8	-4.5	-3.7	-3.6	-3.5	-4.1	-4.0	-4.8	-2.1
Beuk	8	stam	-5.2	-2.5	-5.0	-5.8	-5.0	-4.9	-4.7	-5.4	-5.3	-6.0	-3.3
Beuk	10	stam	-6.3	-3.7	-6.2	-6.9	-6.1	-6.0	-5.9	-6.5	-6.5	-7.2	-4.5
Beuk	12	stam	-7.5	-4.8	-7.4	-8.1	-7.3	-7.2	-7.1	-7.7	-7.6	-8.3	-5.7
Douglas	8	stam	-2.2	0.5	-2.0	-2.8	-2.0	-1.9	-1.7	-2.4	-2.3	-3.0	-0.4
Douglas	10	stam	-2.6	0.1	-2.4	-3.2	-2.4	-2.3	-2.1	-2.8	-2.7	-3.4	-0.8
Douglas	12	stam	-3.2	-0.6	-3.1	-3.8	-3.0	-2.9	-2.8	-3.4	-3.4	-4.1	-1.4
Douglas	14	stam	-3.7	-1.0	-3.6	-4.3	-3.5	-3.4	-3.3	-3.9	-3.8	-4.5	-1.9
Douglas	16	stam	-4.1	-1.5	-4.0	-4.8	-4.0	-3.8	-3.7	-4.4	-4.3	-5.0	-2.3
Eik	4	stam	-3.2	-0.5	-3.0	-3.8	-3.0	-2.9	-2.7	-3.4	-3.3	-4.0	-1.4
Eik	6	stam	-4.6	-1.9	-4.5	-5.2	-4.4	-4.3	-4.2	-4.8	-4.7	-5.4	-2.8
Eik	8	stam	-6.0	-3.3	-5.8	-6.6	-5.8	-5.7	-5.5	-6.2	-6.1	-6.8	-4.2
Es	6	stam	-1.5	1.2	-1.3	-2.1	-1.3	-1.2	-1.0	-1.7	-1.6	-2.3	0.3
Es	8	stam	-1.8	0.8	-1.7	-2.4	-1.7	-1.5	-1.4	-2.0	-2.0	-2.7	0.0
Es	9	stam	-2.0	0.6	-1.9	-2.6	-1.8	-1.7	-1.6	-2.2	-2.1	-2.9	-0.2
Es	10	stam	-2.3	0.4	-2.1	-2.9	-2.1	-2.0	-1.8	-2.5	-2.4	-3.1	-0.5
Grove den	4	stam	-1.1	1.5	-1.0	-1.7	-0.9	-0.8	-0.7	-1.3	-1.3	-2.0	0.7
Grove den	6	stam	-1.5	1.2	-1.4	-2.1	-1.3	-1.2	-1.1	-1.7	-1.6	-2.3	0.3
Grove den	8	stam	-1.9	0.7	-1.8	-2.6	-1.8	-1.6	-1.5	-2.2	-2.1	-2.8	-0.1
Grove den	10	stam	-2.3	0.3	-2.2	-2.9	-2.1	-2.0	-1.9	-2.5	-2.4	-3.2	-0.5
Grove den	12	stam	-2.7	-0.1	-2.6	-3.3	-2.5	-2.4	-2.3	-2.9	-2.8	-3.6	-0.9
Larix	6	stam	-1.6	1.1	-1.5	-2.2	-1.4	-1.3	-1.2	-1.8	-1.7	-2.4	0.2
Larix	8	stam	-2.0	0.7	-1.9	-2.6	-1.8	-1.7	-1.6	-2.2	-2.1	-2.8	-0.2
Larix	10	stam	-2.4	0.3	-2.2	-3.0	-2.2	-2.1	-1.9	-2.6	-2.5	-3.2	-0.6
Larix	12	stam	-2.8	-0.1	-2.6	-3.4	-2.6	-2.5	-2.3	-3.0	-2.9	-3.6	-1.0
Larix	14	stam	-3.1	-0.5	-3.0	-3.8	-3.0	-2.8	-2.7	-3.4	-3.3	-4.0	-1.3
Boomsort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Douglas	4	eindkap	-2.9	-0.3	-2.8	-3.6	-2.8	-2.6	-2.5	-3.2	-3.1	-3.8	-1.1
Beuk	6	eindkap	-4.3	-1.7	-4.2	-4.9	-4.1	-4.0	-3.9	-4.5	-4.5	-5.2	-2.5
Beuk	8	eindkap	-5.7	-3.0	-5.5	-6.3	-5.5	-5.4	-5.2	-5.9	-5.8	-6.5	-3.9
Beuk	10	eindkap	-6.9	-4.3	-6.8	-7.5	-6.7	-6.6	-6.5	-7.1	-7.0	-7.8	-5.1
Beuk	12	eindkap	-8.1	-5.5	-8.0	-8.7	-7.9	-7.8	-7.7	-8.3	-8.3	-9.0	-6.3
Douglas	8	eindkap	-2.7	0.0	-2.6	-3.3	-2.5	-2.4	-2.3	-2.9	-2.8	-3.5	-0.9
Douglas	10	eindkap	-3.2	-0.5	-3.1	-3.8	-3.0	-2.9	-2.8	-3.4	-3.3	-4.1	-1.4
Douglas	12	eindkap	-4.0	-1.3	-3.8	-4.6	-3.8	-3.7	-3.5	-4.2	-4.1	-4.8	-2.2
Douglas	14	eindkap	-4.5	-1.9	-4.4	-5.1	-4.3	-4.2	-4.1	-4.7	-4.6	-5.4	-2.7
Douglas	16	eindkap	-5.1	-2.4	-4.9	-5.7	-4.9	-4.8	-4.6	-5.3	-5.2	-5.9	-3.2
Eik	4	eindkap	-3.6	-0.9	-3.5	-4.2	-3.4	-3.3	-3.2	-3.8	-3.7	-4.5	-1.8
Eik	6	eindkap	-5.1	-2.5	-5.0	-5.8	-5.0	-4.8	-4.7	-5.4	-5.3	-6.0	-3.3
Eik	8	eindkap	-6.6	-4.0	-6.5	-7.3	-6.5	-6.3	-6.2	-6.9	-6.8	-7.5	-4.8
Es	6	eindkap	-1.7	0.9	-1.6	-2.3	-1.5	-1.4	-1.3	-1.9	-1.8	-2.6	0.1
Es	8	eindkap	-2.2	0.5	-2.0	-2.8	-2.0	-1.8	-1.7	-2.4	-2.3	-3.0	-0.3
Es	9	eindkap	-2.4	0.3	-2.2	-3.0	-2.2	-2.1	-1.9	-2.6	-2.5	-3.2	-0.6
Es	10	eindkap	-2.7	0.0	-2.5	-3.3	-2.5	-2.4	-2.2	-2.9	-2.8	-3.5	-0.9
Grove den	4	eindkap	-1.5	1.2	-1.3	-2.1	-1.3	-1.2	-1.0	-1.7	-1.6	-2.3	0.3
Grove den	6	eindkap	-2.0	0.7	-1.8	-2.6	-1.8	-1.7	-1.5	-2.2	-2.1	-2.8	-0.2
Grove den	8	eindkap	-2.5	0.1	-2.4	-3.1	-2.3	-2.2	-2.1	-2.7	-2.6	-3.4	-0.7
Grove den	10	eindkap	-3.0	-0.3	-2.9	-3.6	-2.8	-2.7	-2.6	-3.2	-3.1	-3.9	-1.2
Grove den	12	eindkap	-3.5	-0.8	-3.3	-4.1	-3.3	-3.2	-3.0	-3.7	-3.6	-4.3	-1.7
Larix	6	eindkap	-1.7	0.9	-1.6	-2.4	-1.6	-1.4	-1.3	-2.0	-1.9	-2.6	0.1
Larix	8	eindkap	-2.2	0.5	-2.0	-2.8	-2.0	-1.9	-1.7	-2.4	-2.3	-3.0	-0.4
Larix	10	eindkap	-2.6	0.1	-2.5	-3.2	-2.4	-2.3	-2.2	-2.8	-2.7	-3.5	-0.8
Larix	12	eindkap	-3.0	-0.4	-2.9	-3.6	-2.8	-2.7	-2.6	-3.2	-3.1	-3.9	-1.2
Larix	14	eindkap	-3.4	-0.8	-3.3	-4.0	-3.2	-3.1	-3.0	-3.6	-3.5	-4.3	-1.6
Boomsort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Douglas	4	altijd	-3.2	-0.6	-3.1	-3.8	-3.0	-2.9	-2.8	-3.4	-3.3	-4.1	-1.4
Beuk	6	altijd	-4.8	-2.2	-4.7	-5.4	-4.6	-4.5	-4.4	-5.0	-4.9	-5.7	-3.0
Beuk	8	altijd	-6.4	-3.7	-6.2	-7.0	-6.2	-6.1	-5.9	-6.6	-6.5	-7.2	-4.6
Beuk	10	altijd	-7.8	-5.2	-7.7	-8.4	-7.7	-7.5	-7.4	-8.0	-8.0	-8.7	-6.0
Beuk	12	altijd	-9.3	-6.6	-9.1	-9.9	-9.1	-9.0	-8.8	-9.5	-9.4	-10.1	-7.5
Douglas	8	altijd	-3.5	-0.8	-3.3	-4.1	-3.3	-3.2	-3.0	-3.7	-3.6	-4.3	-1.7
Douglas	10	altijd	-4.2	-1.6	-4.1	-4.8	-4.0	-3.9	-3.8	-4.4	-4.3	-5.1	-2.4
Douglas	12	altijd	-5.7	-3.1	-5.6	-6.4	-5.6	-5.4	-5.3	-6.0	-5.9	-6.6	-3.9
Douglas	14	altijd	-6.7	-4.1	-6.6	-7.3	-6.5	-6.4	-6.3	-6.9	-6.8	-7.6	-4.9
Douglas	16	altijd	-7.7	-5.0	-7.5	-8.3	-7.5	-7.4	-7.2	-7.9	-7.8	-8.5	-5.9
Eik	4	altijd	-4.0	-1.4	-3.9	-4.6	-3.8	-3.7	-3.6	-4.2	-4.1	-4.9	-2.2
Eik	6	altijd	-5.8	-3.2	-5.7	-6.4	-5.6	-5.5	-5.4	-6.0	-6.0	-6.7	-4.0
Eik	8	altijd	-7.6	-5.0	-7.5	-8.2	-7.4	-7.3	-7.2	-7.8	-7.7	-8.5	-5.8
Es	6	altijd	-1.9	0.7	-1.8	-2.5	-1.8	-1.6	-1.5	-2.2	-2.1	-2.8	-0.1
Es	8	altijd	-2.5	0.2	-2.3	-3.1	-2.3	-2.2	-2.0	-2.7	-2.6	-3.3	-0.7
Es	9	altijd	-2.7	-0.1	-2.6	-3.4	-2.6	-2.4	-2.3	-3.0	-2.9	-3.6	-0.9
Es	10	altijd	-3.1	-0.4	-3.0	-3.7	-2.9	-2.8	-2.7	-3.3	-3.2	-3.9	-1.3
Grove den	4	altijd	-2.0	0.7	-1.9	-2.6	-1.8	-1.7	-1.6	-2.2	-2.1	-2.9	-0.2
Grove den	6	altijd	-2.7	-0.1	-2.6	-3.3	-2.6	-2.4	-2.3	-3.0	-2.9	-3.6	-0.9
Grove den	8	altijd	-3.8	-1.2	-3.7	-4.4	-3.6	-3.5	-3.4	-4.0	-3.9	-4.7	-2.0
Grove den	10	altijd	-4.7	-2.1	-4.6	-5.3	-4.5	-4.4	-4.3	-4.9	-4.9	-5.6	-2.9
Grove den	12	altijd	-5.6	-3.0	-5.5	-6.3	-5.5	-5.3	-5.2	-5.9	-5.8	-6.5	-3.8
Larix	6	altijd	-2.0	0.6	-1.9	-2.6	-1.9	-1.7	-1.6	-2.3	-2.2	-2.9	-0.2
Larix	8	altijd	-2.6	0.0	-2.5	-3.2	-2.4	-2.3	-2.2	-2.8	-2.7	-3.5	-0.8
Larix	10	altijd	-3.2	-0.5	-3.1	-3.8	-3.0	-2.9	-2.8	-3.4	-3.3	-4.0	-1.4
Larix	12	altijd	-3.8	-1.1	-3.6	-4.4	-3.6	-3.5	-3.3	-4.0	-3.9	-4.6	-2.0
Larix	14	altijd	-4.3	-1.7	-4.2	-4.9	-4.2	-4.0	-3.9	-4.6	-4.5	-5.2	-2.5

P-balans (in kg/ha/jr). Voor toelichting zie Tabel 3.1.

30 | Alterra-rapport 2618

3.2 Uitputting van de bodemvoorraad

Naast de balans is ook berekend op welke termijn de huidige beschikbare voorraden van nutriënten in de bodem zijn uitgeput voor de verschillende groeiscenario's. Hierbij zijn bodemvoorraden gedeeld door de jaarlijkse netto aanvoer of afvoer van nutriënten:

$$t_{\text{uitputting}} = \frac{\text{voorraad}(\text{kg} / \text{ha})}{\text{netto}_{\text{aan}} - / \text{afvoer}(\text{kg} / \text{ha} / \text{jr})}$$

De voorraden beschikbare kationen zijn hierbij gedefinieerd als de hoeveelheid geadsorbeerde kationen in het hele profiel. Voor P is dit de voorraad beschikbaar (geadsorbeerd) fosfaat (P_{ox}) in het gehele profiel.

Bij de berekening van tijdsduur voor uitputting van de bodem is er geen rekening mee gehouden dat bij een sterke uitputting van de bodem, de opname van nutriënten door de bomen en de uitspoeling afnemen. In de praktijk zal dit wel het geval zijn en zal volledige uitputting van de bodem veel langer duren. Echter, de groei van bomen zal in die gevallen dan ook flink afnemen.

In Tabel 3.6 is een voorbeeld gegeven voor Ca bij oogst van alleen stammen van beuk. Deze tabel geeft de tijdsduur voor volledige uitputting van de bodem weer in jaren. Indien er geen uitputting berekend wordt, is het betreffende scenario groen gekleurd. Bij een snelle uitputting (<100 jr) is het scenario rood, bij een tijdsduur tussen 100 en 1000 jaar oranje en geel bij een tijdsduur van meer dan 1000 jaar. De volledige tabellen voor de uitputtingsduur zijn opgenomen als Tabel 3.7-3.10.

Tabel 3.6

Voorbeeld van uitputtingsduur van Ca in de bodem bij oogst van stamhout van beuk voor verschillende groeiklassen (4, 6, 8, 10 en 12 m³/ha/jr) en groeiplaatstypen (1-6, vergelijk Tabel 2.2). Tijdsduur in jaren. Rood: snelle uitputting (<100 jr); Groen: geen uitputting; Oranje: uitputting tussen 100 en 1000 jaar; Geel: uitputting vanaf 1000 jaar.

Boomsoort	Groeiklasse	Scenario	1	2	3	4	5	6
Beuk	4	stam	1219		1024		953	165
Beuk	6	stam	448		447		410	69
Beuk	8	stam	278		289		264	44
Beuk	10	stam	204		216		197	33
Beuk	12	stam	162	1926	173	5043	158	26

In bovenstaande tabel en de Tabellen 3.7-3.10 is de onzekerheid in nutriëntenbalansen niet meegenomen.

Uit Tabel 3.7-3.10 blijkt dat er op basis van berekende balansen vooral voor K en in een aantal gevallen ook voor Ca een relatief snelle uitputting van de bodemvoorraad wordt berekend. Voor Mg wordt er nauwelijks uitputting berekend, wat ook al volgde uit de nutriëntenbalansen in § 3.1. Voor P is er weliswaar in veel gevallen een negatieve balans berekend, maar is de tijdsduur voor uitputting van de bodem lang tot zeer lang.

Tabel 3.7

Uitputtingsduur van Ca in jaren. Voor toelichting zie Tabel 3.6.

Calcium		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Boomsoor	Groeiklass	Scenario										
Beuk	4 stam	1219		1024		953	165	247	198	709		
Beuk	6 stam	448		447		410	69	99	94	329		1279
Beuk	8 stam	278		289		264	44	62	62	217		520
Beuk	10 stam	204		216		197	33	46	47	164	2786	332
Beuk	12 stam	162	1926	173	5043	158	26	37	38	132	1195	245
Douglas	8 stam	1276		1060		987	171	257	204	731		
Douglas	10 stam	739		688		635	108	158	139	494		20668
Douglas	12 stam	444		443		406	68	98	93	326		1250
Douglas	14 stam	347		354		324	54	77	75	264		753
Douglas	16 stam	285		296		270	45	64	63	222		541
Eik	4 stam	268		279		255	42	60	60	210		491
Eik	6 stam	156	1471	167	3536	153	25	36	37	127	1081	234
Eik	8 stam	111	403	120	812	109	18	25	26	92	522	154
Es	6 stam	48091		3845		3836	807	1693	538	2055		
Es	8 stam	1686		1294		1212	213	327	241	871		
Es	9 stam	1142		974		906	156	234	190	678		
Es	10 stam	791		728		673	114	168	147	520		
Grove den	4 stam											
Grove den	6 stam			16823		25144			1034	4388		
Grove den	8 stam	2617		1713		1620	292	465	303	1106		
Grove den	10 stam	1146		977		908	157	234	190	680		
Grove den	12 stam	731		682		629	107	156	138	490		16483
Larix	6 stam	58439		3894		3890	822	1740	542	2073		
Larix	8 stam	1788		1347		1263	223	343	249	902		
Larix	10 stam	918		822		761	130	192	163	581		
Larix	12 stam	620		593		546	92	134	122	430		3772
Larix	14 stam	468		464		426	71	103	97	341		1418
Boomsoor	Groeiklass	Scenario										
Beuk	4 eindkap	685		646		596	101	147	132	466		7304
Beuk	6 eindkap	324		333		304	51	72	71	248		667
Beuk	8 eindkap	216		228		208	34	49	49	172	3845	359
Beuk	10 eindkap	165	2188	176	6036	160	26	37	38	134	1245	250
Beuk	12 eindkap	134	706	144	1492	131	22	31	32	110	752	193
Douglas	8 eindkap	766		709		655	111	163	143	508		124648
Douglas	10 eindkap	509		499		459	77	111	104	366		1782
Douglas	12 eindkap	337		345		316	53	75	73	257		715
Douglas	14 eindkap	272		282		258	43	61	61	212		501
Douglas	16 eindkap	228		240		219	36	52	52	181	6030	388
Eik	4 eindkap	210		222		202	33	47	48	167	3194	344
Eik	6 eindkap	129	621	139	1295	127	21	29	31	106	697	185
Eik	8 eindkap	94	278	102	550	93	15	21	23	78	396	128
Es	6 eindkap	1559		1225		1146	201	306	231	831		
Es	8 eindkap	737		686		634	108	157	139	493		19436
Es	9 eindkap	586		564		520	88	127	116	411		2897
Es	10 eindkap	461		458		420	70	101	96	337		1368
Grove den	4 eindkap								5195	267685		
Grove den	6 eindkap	5887		2540		2453	468	810	407	1518		
Grove den	8 eindkap	1190		1006		936	162	242	195	698		
Grove den	10 eindkap	714		668		616	105	153	136	480		11264
Grove den	12 eindkap	511		502		461	77	112	104	367		1810
Larix	6 eindkap	5350		2445		2355	446	765	396	1474		
Larix	8 eindkap	1304		1077		1003	174	262	207	742		
Larix	10 eindkap	752		698		644	109	160	141	500		34545
Larix	12 eindkap	531		518		476	80	116	108	379		2028
Larix	14 eindkap	410		412		378	63	91	87	305		1044
Boomsoor	Groeiklass	Scenario										
Beuk	4 altijd	500		492		452	76	109	102	360		1693
Beuk	6 altijd	246		258		236	39	55	56	194	21579	432
Beuk	8 altijd	165	2264	177	6345	161	27	38	39	134	1258	251
Beuk	10 altijd	126	575	136	1191	124	20	29	30	104	664	180
Beuk	12 altijd	102	332	111	663	101	17	23	24	85	454	140
Douglas	8 altijd	494		487		447	75	108	102	357		1641
Douglas	10 altijd	342		349		320	53	76	74	260		733
Douglas	12 altijd	216		228		208	34	49	49	172	3836	358
Douglas	14 altijd	175	4503	186	23765	170	28	40	41	141	1483	269
Douglas	16 altijd	146	1028	157	2288	143	24	33	34	120	921	216
Eik	4 altijd	174	4146	185	19178	169	28	39	40	141	1461	268
Eik	6 altijd	106	364	115	729	105	17	24	25	88	485	147
Eik	8 altijd	77	191	84	374	76	13	18	19	64	293	102
Es	6 altijd	834		760		702	120	176	152	541		
Es	8 altijd	463		460		422	71	102	96	338		1383
Es	9 altijd	380		385		352	59	84	81	285		893
Es	10 altijd	310		319		292	49	69	68	239		619
Grove den	4 altijd	56591		3887		3882	819	1733	541	2070		
Grove den	6 altijd	1272		1057		984	171	257	203	729		
Grove den	8 altijd	535		522		480	81	117	108	382		2086
Grove den	10 altijd	361		367		336	56	80	78	273		808
Grove den	12 altijd	271		282		258	43	61	61	212		499
Larix	6 altijd	1981		1442		1355	240	373	264	956		
Larix	8 altijd	807		740		684	116	171	149	528		
Larix	10 altijd	508		499		459	77	111	104	366		1779
Larix	12 altijd	371		377		345	58	82	80	280		854
Larix	14 altijd	292		302		276	46	65	65	226		562

Tabel 3.8

Uitputtingsduur van Mg in jaren. Voor toelichting zie Tabel 3.6.

Magnesium			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Boomsoort	Groeiklass	Scenario											
Beuk	4	stam											
Beuk	6	stam											
Beuk	8	stam											
Beuk	10	stam								2019	2614		
Beuk	12	stam		1085		1325	939	1923	714	746			
Douglas	8	stam											
Douglas	10	stam											
Douglas	12	stam											
Douglas	14	stam											
Douglas	16	stam											
Eik	4	stam											
Eik	6	stam											
Eik	8	stam											
Es	6	stam											
Es	8	stam											
Es	9	stam											
Es	10	stam											
Grove den	4	stam											
Grove den	6	stam											
Grove den	8	stam											
Grove den	10	stam											
Grove den	12	stam											
Larix	6	stam											
Larix	8	stam											
Larix	10	stam											
Larix	12	stam											
Larix	14	stam											
Boomsoort	Groeiklass	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	eindkap											
Beuk	6	eindkap											
Beuk	8	eindkap											
Beuk	10	eindkap		2549		3581	4872		1115	1237			
Beuk	12	eindkap		720		851	548	932	542	552			
Douglas	8	eindkap											
Douglas	10	eindkap											
Douglas	12	eindkap											
Douglas	14	eindkap											
Douglas	16	eindkap							8521				
Eik	4	eindkap											
Eik	6	eindkap											
Eik	8	eindkap											
Es	6	eindkap											
Es	8	eindkap											
Es	9	eindkap											
Es	10	eindkap											
Grove den	4	eindkap											
Grove den	6	eindkap											
Grove den	8	eindkap											
Grove den	10	eindkap											
Grove den	12	eindkap											
Larix	6	eindkap											
Larix	8	eindkap											
Larix	10	eindkap											
Larix	12	eindkap											
Larix	14	eindkap											
Boomsoort	Groeiklass	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4	altijd											
Beuk	6	altijd								2449	3443		
Beuk	8	altijd											
Beuk	10	altijd		942		1136	774	1460	652	675			
Beuk	12	altijd		450		520	315	486	379	377			
Douglas	8	altijd											
Douglas	10	altijd											
Douglas	12	altijd		5649		11660			1444	1691			
Douglas	14	altijd		927		1116	757	1417	645	667			
Douglas	16	altijd		505		586	359	566	416	416			
Eik	4	altijd											
Eik	6	altijd											
Eik	8	altijd											
Es	6	altijd											
Es	8	altijd											
Es	9	altijd											
Es	10	altijd											
Grove den	4	altijd											
Grove den	6	altijd											
Grove den	8	altijd											
Grove den	10	altijd											
Grove den	12	altijd		4181		7062			1331	1529			
Larix	6	altijd											
Larix	8	altijd											
Larix	10	altijd											
Larix	12	altijd											
Larix	14	altijd							16265				

Tabel 3.9

Uitputtingsduur van K in jaren. Voor toelichting zie Tabel 3.6.

Kalium		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Boomsoort	Groeiklass	Scenario										
Beuk	4 stam	178		193	181	252	107	199	154	171	170	558
Beuk	6 stam	120	568	128	130	165	69	126	106	117	124	219
Beuk	8 stam	91	285	96	102	124	52	93	81	89	99	138
Beuk	10 stam	74	194	78	85	100	41	74	67	73	82	102
Beuk	12 stam	63	147	66	72	84	35	62	57	62	71	81
Douglas	8 stam	218		239	213	313	135	254	185	207	197	1320
Douglas	10 stam	183		198	185	258	110	204	157	175	173	603
Douglas	12 stam	145	1252	156	153	202	85	156	127	140	145	325
Douglas	14 stam	127	689	135	136	176	74	134	112	123	130	245
Douglas	16 stam	113	478	120	123	155	65	118	100	110	118	197
Eik	4 stam	148	1370	158	155	206	87	159	129	142	147	336
Eik	6 stam	102	369	108	113	140	58	105	91	100	109	166
Eik	8 stam	79	215	83	89	106	44	79	71	77	87	111
Es	6 stam	321		363	284	483	215	426	261	297	256	
Es	8 stam	255		283	240	372	163	311	213	240	220	13125
Es	9 stam	232		255	223	335	145	275	195	219	206	2092
Es	10 stam	206		224	203	293	126	236	175	196	189	965
Grove den	4 stam	414		481	337	648	299	623	324	374	298	
Grove den	6 stam	314		354	279	470	209	412	256	291	252	
Grove den	8 stam	241		266	230	349	152	289	202	227	211	3198
Grove den	10 stam	202		220	200	287	123	231	172	192	186	883
Grove den	12 stam	173	14072	187	177	244	104	192	149	166	166	510
Larix	6 stam	295		331	267	438	194	378	242	275	242	
Larix	8 stam	236		260	226	341	148	281	199	223	208	2492
Larix	10 stam	197		215	197	281	120	225	169	188	183	807
Larix	12 stam	170	7066	183	174	239	102	188	147	163	164	483
Larix	14 stam	149	1465	160	156	208	88	161	130	144	148	345
Boomsoort	Groeiklass	Scenario										
Beuk	4 eindkap	159	2484	171	165	223	94	174	138	153	156	405
Beuk	6 eindkap	108	425	115	119	148	62	112	96	106	114	183
Beuk	8 eindkap	83	237	87	94	112	47	83	74	81	91	120
Beuk	10 eindkap	68	167	71	78	91	38	67	61	67	76	91
Beuk	12 eindkap	58	130	60	67	77	32	57	52	57	66	73
Douglas	8 eindkap	174	22243	188	178	245	104	193	150	167	167	520
Douglas	10 eindkap	146	1307	157	154	204	86	158	128	141	146	330
Douglas	12 eindkap	118	543	126	128	163	68	123	104	115	123	214
Douglas	14 eindkap	104	383	110	114	142	59	107	92	101	110	170
Douglas	16 eindkap	93	298	98	104	126	53	95	83	91	100	143
Eik	4 eindkap	130	749	139	139	180	76	137	114	126	133	256
Eik	6 eindkap	91	286	96	102	124	52	93	82	89	99	138
Eik	8 eindkap	71	178	74	81	95	39	70	64	69	79	96
Es	6 eindkap	274		305	253	402	177	341	227	256	230	
Es	8 eindkap	218		239	213	313	135	254	185	207	197	1329
Es	9 eindkap	198		216	197	282	121	226	170	189	184	822
Es	10 eindkap	177		191	180	249	106	197	152	169	169	543
Grove den	4 eindkap	318		359	282	477	213	420	259	294	254	
Grove den	6 eindkap	239		263	228	346	150	285	201	225	210	2838
Grove den	8 eindkap	186		201	187	263	112	209	160	178	175	639
Grove den	10 eindkap	157	2119	168	163	219	93	170	136	151	154	388
Grove den	12 eindkap	136	895	145	144	188	79	145	119	131	137	280
Larix	6 eindkap	268		298	249	394	173	332	223	251	228	
Larix	8 eindkap	215		235	211	308	133	250	183	204	195	1222
Larix	10 eindkap	180		195	183	255	109	202	155	173	171	580
Larix	12 eindkap	156	2011	167	162	218	92	169	135	150	153	382
Larix	14 eindkap	137	928	146	145	190	80	146	120	133	138	285
Boomsoort	Groeiklass	Scenario										
Beuk	4 altijd	146	1284	156	154	203	86	157	128	141	146	328
Beuk	6 altijd	97	330	103	108	133	55	100	87	95	104	154
Beuk	8 altijd	74	192	77	84	100	41	74	66	73	82	101
Beuk	10 altijd	60	137	63	69	80	33	59	54	59	68	77
Beuk	12 altijd	51	107	53	59	68	28	49	46	50	58	62
Douglas	8 altijd	136	893	145	144	188	79	144	119	131	137	280
Douglas	10 altijd	111	454	118	121	152	64	115	98	108	117	191
Douglas	12 altijd	82	230	86	92	111	46	82	73	80	90	117
Douglas	14 altijd	70	176	73	80	94	39	70	63	69	78	94
Douglas	16 altijd	61	142	64	71	82	34	60	55	60	69	79
Eik	4 altijd	117	524	124	127	161	67	122	103	114	122	209
Eik	6 altijd	80	224	84	91	109	45	81	72	79	89	115
Eik	8 altijd	62	143	64	71	83	34	61	56	61	70	79
Es	6 altijd	241		266	230	350	152	289	203	228	212	3250
Es	8 altijd	189		205	190	268	115	213	162	181	178	683
Es	9 altijd	171	8293	184	175	240	102	189	148	164	165	491
Es	10 altijd	152	1661	163	159	212	90	164	132	146	150	360
Grove den	4 altijd	235		258	225	339	147	279	198	222	208	2349
Grove den	6 altijd	171	8431	185	175	240	102	189	148	164	165	491
Grove den	8 altijd	123	610	131	132	169	71	129	108	119	127	229
Grove den	10 altijd	99	344	105	110	135	56	102	88	97	106	158
Grove den	12 altijd	83	238	87	94	113	47	84	75	82	91	120
Larix	6 altijd	230		252	221	331	143	271	194	217	204	1918
Larix	8 altijd	179		194	182	253	108	200	154	172	170	566
Larix	10 altijd	147	1337	158	154	205	86	158	128	142	146	333
Larix	12 altijd	125	643	133	134	172	72	131	110	121	128	236
Larix	14 altijd	108	423	115	119	148	62	112	96	105	114	182

Tabel 3.10

Uitputtingsduur van P in jaren. Voor toelichting zie Tabel 3.6.

Fosfor		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Boomsoort	Groei-klass	Scenario											
Beuk	4 stam												
Beuk	6 stam												
Beuk	8 stam		20009	16587	19854	16444	15230	20604	23231	22028	18960	21520	
Beuk	10 stam		3204	2656	3179	2633	2439	3299	3720	3527	3036	3446	
Beuk	12 stam		1757	1456	1743	1444	1337	1809	2040	1934	1665	1889	
Douglas	8 stam												
Douglas	10 stam												
Douglas	12 stam		23140	19184	22962	19018	17614	23829	26867	25476	21928	24889	
Douglas	14 stam		4701	3898	4665	3864	3579	4841	5459	5176	4455	5057	
Douglas	16 stam		2634	2184	2614	2165	2005	2712	3058	2900	2496	2833	
Eik	4 stam												
Eik	6 stam												
Eik	8 stam		3800	3151	3771	3123	2893	3914	4413	4184	3601	4088	
Es	6 stam												
Es	8 stam												
Es	9 stam												
Es	10 stam												
Grove den	4 stam												
Grove den	6 stam												
Grove den	8 stam												
Grove den	10 stam												
Grove den	12 stam												
Larix	6 stam												
Larix	8 stam												
Larix	10 stam												
Larix	12 stam												
Larix	14 stam		77213	64010	76616	63457	58772	79512	89648	85006	73167	83047	
Boomsoort	Groei-klass	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4 eindkap												
Beuk	6 eindkap												
Beuk	8 eindkap		3206	2658	3182	2635	2441	3302	3723	3530	3038	3449	16594
Beuk	10 eindkap		1635	1355	1622	1344	1245	1684	1898	1800	1549	1759	8462
Beuk	12 eindkap		1110	920	1101	912	845	1143	1288	1222	1052	1194	5743
Douglas	8 eindkap												
Douglas	10 eindkap		12087	10020	11994	9934	9200	12447	14034	13307	11454	13001	62556
Douglas	12 eindkap		2696	2235	2675	2215	2052	2776	3130	2968	2554	2899	13952
Douglas	14 eindkap		1731	1435	1718	1423	1318	1783	2010	1906	1641	1862	8960
Douglas	16 eindkap		1285	1065	1275	1056	978	1323	1492	1414	1217	1382	6649
Eik	4 eindkap												
Eik	6 eindkap		4724	3916	4688	3882	3596	4865	5485	5201	4477	5081	24449
Eik	8 eindkap		1724	1429	1710	1417	1312	1775	2001	1898	1633	1854	8920
Es	6 eindkap												
Es	8 eindkap												
Es	9 eindkap												
Es	10 eindkap												
Grove den	4 eindkap												
Grove den	6 eindkap												
Grove den	8 eindkap												
Grove den	10 eindkap												
Grove den	12 eindkap		5807	4814	5762	4772	4420	5980	6742	6393	5503	6246	30053
Larix	6 eindkap												
Larix	8 eindkap												
Larix	10 eindkap												
Larix	12 eindkap												
Larix	14 eindkap		7516	6231	7458	6177	5721	7740	8726	8275	7122	8084	38898
Boomsoort	Groei-klass	Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beuk	4 altijd												
Beuk	6 altijd		4210	3491	4178	3460	3205	4336	4889	4635	3990	4529	21791
Beuk	8 altijd		1487	1233	1476	1222	1132	1531	1727	1637	1409	1599	7696
Beuk	10 altijd		921	763	914	757	701	948	1069	1014	873	990	4766
Beuk	12 altijd		670	556	665	551	510	690	778	738	635	721	3470
Douglas	8 altijd		4383	3634	4349	3602	3336	4514	5089	4825	4153	4714	22684
Douglas	10 altijd		1860	1542	1846	1529	1416	1915	2159	2048	1762	2000	9626
Douglas	12 altijd		859	712	853	706	654	885	998	946	814	924	4448
Douglas	14 altijd		643	533	638	528	489	662	747	708	609	692	3328
Douglas	16 altijd		514	426	510	422	391	529	596	565	487	552	2658
Eik	4 altijd		45547	37759	45196	37433	34669	46904	52883	50145	43161	48989	235725
Eik	6 altijd		1867	1548	1852	1534	1421	1922	2167	2055	1769	2008	9661
Eik	8 altijd		959	795	952	788	730	988	1114	1056	909	1032	4965
Es	6 altijd												
Es	8 altijd												
Es	9 altijd												
Es	10 altijd		7124	5906	7069	5855	5423	7336	8272	7843	6751	7662	36870
Grove den	4 altijd												
Grove den	6 altijd												
Grove den	8 altijd		2690	2230	2669	2210	2047	2770	3123	2961	2549	2893	13920
Grove den	10 altijd		1363	1130	1353	1120	1038	1404	1583	1501	1292	1466	7056
Grove den	12 altijd		909	753	902	747	692	936	1055	1000	861	977	4703
Larix	6 altijd												
Larix	8 altijd												
Larix	10 altijd		12490	10354	12394	10265	9507	12862	14502	13751	11836	13434	64641
Larix	12 altijd		3314	2747	3288	2723	2522	3413	3848	3648	3140	3564	17151
Larix	14 altijd		1912	1585	1897	1571	1455	1969	2220	2105	1812	2056	9894

4 Discussie en conclusies

4.1 Modeltermen en onzekerheden

Onzekerheden en mogelijke verbeteringen

De balansen worden bepaald door de aanvoer van nutriënten middels atmosferische depositie en verwerking en de afvoer middels houtoogst en uitspoeling naar de grond en het oppervlaktewater. In Tabel 4.1 is aangegeven hoe de onzekerheid voor de verschillende aanvoer- en afvoertermen wordt ingeschat voor enerzijds de kationen Ca, Mg en K en anderzijds P. Dit onderscheid is gemaakt, omdat vooral voor P de onzekerheid groot is.

In de balansen in hoofdstuk 3 is uitgegaan van gemiddelde en mediane waarden voor aan- en afvoer. Regionale spreiding anders dan verschil in bodemeigenschappen is hierbij (nog) niet meegenomen. In Tabel 4.1 is daarom tevens aangegeven hoe te komen tot een betere schatting van de termen op lokaal niveau en hoe de onzekerheid in de termen kan worden verkleind.

Tabel 4.1

Onzekerheid in de aanvoer en afvoertermen voor Ca, Mg, K en P en de mogelijke onderzoeksmethoden om hier meer inzicht in te krijgen.

Term	Ca, Mg, K	P	Verbetermogelijkheden
Depositie	+/-	-	Meenemen van de landelijke spreiding van de depositie van kationen. Nagaan hoe ruimtelijke structuren (bosranden etc.) de depositie beïnvloeden. Aanvullend onderzoek naar P-depositie.
Houtafvoer (Gehalten in bomen)	+/-	+/-	Analyse van de gehalten P, Ca, Mg en K in stammen en takken (bijv. bij vellingen) en relateren aan beschikbaarheid.
Verwerking	+/-	--	P: inschatten via silica/basen verwerking: totaalanalyse bodem. Kationen: ensemble-schatting door toepassen en vergelijken van verschillende methodes voor schatting van de verwerking. Bij voorkeur op dezelfde locaties als voor de houtafvoer.
Uitspoeling	-	--	Kationen: lokaal eenvoudig te verbeteren door te koppelen aan N- en S-depositie met water- en verzuringsmodel. Fosfaat: onderzoek adsorptie/desorptie.
Bodemvoorraad	+	+	Analyse beschikbare voorraad in bodem op locaties van de eerder genoemde vellingen.

++ heel zeker en -- heel onzeker (+, +/- en - liggen er tussen).

De belangrijkste actie is de analyse van gehalten P, Ca, Mg en K in stammen en takken in vellingen en een analyse van de beschikbare voorraad van deze nutriënten in de bodem op de locaties van dezelfde vellingen, om na te gaan of hier een verband tussen is. In Nederland zijn veel gegevens bekend van gehalten in bladeren en ook wel de relatie met de voedingstoestand van de bodem. Er is echter veel minder bekend van gehalten in stammen en takken, wat ook geldt voor het buitenland. Juist voor de bepaling van de afvoer via houtoogst is die informatie essentieel. In onze analyse wordt gewerkt met gemiddelde gehalten, ontleend aan een zeer beperkte literatuur. Voor een betere praktische toepasbaarheid is het cruciaal om tot een adviesstelsel te komen met een aanzienlijk grotere betrouwbaarheid. Het benodigde aanvullende onderzoek is zeker in een jaar niet compleet, maar vereist een meerjarige opzet om voor de voor bosbeheer relevante range aan boomsoorten en groeiplaatsen tot een betrouwbare dataset te komen.

Daarnaast kan met beperkte inspanning (een jaar) een betere ruimtelijke specifieke schatting worden gemaakt van de landelijke spreiding in depositie van Ca, Mg, K en P middels ruimtelijke interpolatie

van depositiedata van het RIVM. Tevens kan een betere ruimtelijke specifieke schatting worden gemaakt van de verwerking en uitspoeling van Ca, Mg en K op basis van beschikbare gegevens van N- en S-depositie en bestaande regionale water- en verzuringmodellen. Een grotere inzet is echter vereist om voor P tot een verbetering te komen van de verwerking. Dit vereist bodemchemisch onderzoek, waaronder een totaalanalyse van de bodem (voor inschatten van de ratio in P en basen verwerking) en onderzoek naar fosfaat adsorptie/desorptie, om tot een inschatting te komen van P-uitspoeling.

Presentatie van onzekerheden

Elke van de balanstermen kent op een willekeurige locatie momenteel een onzekerheid van minimaal 25-50%. Als gevolg hiervan zal voor een willekeurige locatie met een gegeven groeiplaatstype en boomsoort de onzekerheid groot zijn. Wanneer de berekeningen echter gerelateerd worden aan het gemiddelde voor een groeiplaatstype en boomsoort, dan is onzekerheid veel lager en lijkt het redelijk om een onzekerheidsmarge van +/-30% (50% voor P) aan te houden, aangezien de onzekerheid in de gemiddelde aanvoer- en afvoertermen veel lager is en ze bovendien gecorreleerd zijn. Zo zal een hogere toevoer via depositie en verwerking vermoedelijk ook gecorreleerd zijn met een hogere afvoer middels opname en uitspoeling.

Er is nog een behoorlijke mate van onzekerheid in de schattingen, deels omdat niet alle bestaande kennis over ruimtelijke variatie in aanvoer- en afvoertermen is meegenomen en deels omdat die onbekend is. Om voor de praktijk van grotere waarde te zijn, is een verdere verkleining van die onzekerheid gewenst middels een gerichte verbetering van de schattingen van de verschillende termen (zie hierboven).

4.2 Verwachtingen van een nationaal adviessysteem houtoogst

Op 11 november 2014 zijn de voorlopige resultaten van dit onderzoek gepresenteerd in een workshop voor beseigenaren en beleidsmakers. De deelnemers zijn gericht uitgenodigd. Doel van de bijeenkomst was het presenteren van de in dit rapport beschreven resultaten en het bediscussiëren van de mogelijkheden om op basis van de opgestelde nutriëntenbalansen te komen tot een voor de praktijk bruikbaar adviessysteem. In Bijlage 3 is het programma van de workshop en de lijst van genodigden opgenomen.

Uit de discussie van de workshop kwamen de volgende zaken naar voren:

1. De beheerders hechten belang aan goede gegevens met betrekking tot de nutriëntenbalans van de bossen. Dit inzicht kan helpen om heldere keuzes te maken tussen de wens om enerzijds de oogst van stamhout en takhout te verhogen en anderzijds de bossen duurzaam in stand te houden en te zorgen voor goede randvoorwaarden voor de natuur en eventuele andere doelen.
2. De huidige tabellen van de nutriëntenbalans en de uitputting van de bodem zijn niet voldoende toegesneden op deze vraag. In grofweg de helft van de combinaties boomsoort, groeiklasse en oogstscenario waren uitkomsten niet duidelijk genoeg om met redelijke zekerheid uitspraken te doen over de duurzaamheid ervan. Voor die situaties is het daarom goed de in § 4.1 genoemde onzekerheden te verkleinen door parameters in het model beter te onderbouwen. Ook kan de duidelijkheid verhoogd te worden door het aanhouden van een kleinere onzekerheidsmarge als het gaat om de uitkomsten. In de op de workshop gepresenteerde tabellen is een onzekerheid aangehouden van -50% tot + 100%, waardoor voor relatief veel situaties de uitkomst niet eenduidig is. In de praktijk zijn beheerders vooral geïnteresseerd in gemiddelden, omdat daaruit blijkt wat de randvoorwaarden op perceelsniveau zijn voor een duurzaam beheer. Daarom is nogmaals naar de onzekerheden gekeken en zijn de marges in uiteindelijke resultaten in deze rapportage verkleind (van -30% tot +30%).
3. Beheerders gaven aan behoefte te hebben aan een eenvoudig systeem. Het liefst een aggregatie van bodems in een beperkt aantal klassen (bijv. zeer arm, arm, matig voedselrijk en voedselrijk) en regio's, waarbij per klasse – indien nodig onderscheiden naar verschillende boomsoorten – aangegeven wordt wat de risico's zijn voor de nutriëntenvoorraad bij dunningen en eindkap (beide

stamhout al dan niet gecombineerd met oogst van takhout). In dit systeem kunnen de risico's worden aangegeven, maar ook maatregelen om de risico's te mitigeren.

4. Voorts zijn beheerders ook geïnteresseerd in eventuele mitigerende maatregelen die genomen kunnen worden indien oogst leidt tot uitputting van de bodem. Zijn er effectieve mitigerende maatregelen die genomen kunnen worden? Hierbij kan gedacht worden aan bemesting of achterlaten van (een deel van) het tak- en tophout bij de dunning en/of de oogst.
5. Een zorg die enkele beheerders aangaven was de effecten van oogst op de N/P-verhouding en daarmee op de biodiversiteit.

Vanuit de onderzoekers werd aangegeven dat een bijgewerkt adviessysteem tegemoet kan komen aan de hierboven genoemde punten (met name punten 2 en 3). Om tot een voor de praktijk hanteerbaar systeem te komen, kan voor een deel gebruik worden gemaakt van meer realistische inschattingen van onzekerheden van de nu beschikbare data op perceelniveau. Het is echter zeer wenselijk om voor een aantal balansposten nieuwe data te verzamelen en met deze data het adviessysteem aan te scherpen en te valideren.

Verschillende betrokken terreinbeheerders hebben aangegeven positief te staan tegenover het ondersteunen van verdere onderbouwing van het systeem, bijvoorbeeld via metingen van nutriëntgehalten in bodem en bomen op hun terreinen.

4.3 Conclusies

Het doel van deze studie was om te inventariseren onder welke omstandigheden (groeiplaatstype, boomsoort) extra houtoogst in de vorm van top- en takhout duurzaam is. Hierbij is gekeken in welke mate (extra) houtoogst leidt tot uitputting van de nutriënten Ca, Mg, K en P in de bodem.

Uit deze studie volgt:

1. Er zijn duidelijke verschillen tussen de rijkere gronden en de armere gronden. Bij de rijkere gronden wordt voor alle groeiklassen zelden uitputting verwacht. Deze gronden bevinden zich bij groeiplaats PL02 (Lössleemgronden op leemhoudende stuwwallen), PL04 (Keileem of zand met ondiep keileem) en PL10 (Matig basenarme Oude rivierkleigronden in Pleistocene rivierterrassen).
2. Verder blijkt dat er over de gehele range aan groei uitputting optreedt bij de armere gronden (alle overige groeiplaatstypen in Tabel 2.2), met name bij hogere groeiklassen. De uitputting treedt vooral op bij Ca en K. Voor deze gronden wordt zelfs bij de huidige oogst al een uitputting berekend.
3. De huidige berekeningen kennen nog een aantal grote onzekerheden. De belangrijkste onzekerheid is de mate waarin de opname en gehalten van nutriënten in boomcompartimenten gerelateerd is aan de beschikbaarheid van deze nutriënten. Het valt te verwachten dat gehalten in houtige boomcompartimenten lager zijn bij een lagere beschikbaarheid. Een mogelijk gevolg is dat opname voor arme groeiplaatsen wordt overschat en balansen dus te negatief worden voorgesteld. Helaas kan op basis van de huidige beschikbare data een relatie tussen beschikbaarheid en opname niet worden vastgesteld.
4. Ook de aanvoertermen hebben een grote onzekerheid. Dit geldt vooral voor de aanvoer van kationen door verwerking en de aanvoer van P door atmosferische depositie. Ook verwerking van P heeft een grote onzekerheid, maar de bijdrage aan de totale P-balans is gering.

Om in de nabije toekomst te komen tot een voor specifieke locaties toepasbaar adviessysteem, is het in de eerste plaats nodig dat de huidige onzekerheden in de berekeningen worden verkleind. Hiervoor zijn aanvullende gegevens nodig van de opname en gehalten van nutriënten in bomen in relatie tot de beschikbaarheid in de bodem en van de aanvoer van nutriënten door verwerking en depositie. Verder is het van belang dat er een koppeling wordt gelegd tussen de groeiplaatsen en de mogelijke groeiklassen (groeiverwachting) op deze groeiplaatsen.

Literatuur

- André, F. & Q. Ponette (2003) Comparison of biomass and nutrient content between oak (*Quercus petraea*) and hornbeam (*Carpinus betulus*) trees in a coppice-with-standards stand in Chimay (Belgium). *Ann. For. Sci.* 60: 489-502.
- Bakker, G. & H.R.J. Vroon (1999) Het bepalen van groeiverandering bij verandering van de grondwaterstand. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 71(4): 181-184.
- Bannink, J.F., H.N. Leijss & I.S. Zonneveld (1973) Vegetatie, groeiplaats en boniteit van Nederlandse naaldboutbossen. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Bodemkundige Studies 9.
- Bastide, J.G.A.L. & P.J. Faber (1972a) Revised yield tables of six tree species in the Netherlands. Wageningen, Stichting bosbouwproefstation 'De Dorschkamp'. Uitvoerig verslag Band 11(1).
- Bastide, J.G.A.L. & P.J. Faber (1972b) Revised yield tables of six tree species in the Netherlands, Correction of the volumes in the yield tables of red oak, European black pine and Douglas fir. Wageningen, Stichting bosbouwproefstation 'De Dorschkamp'. Uitvoerig verslag Band 11(1).
- Bauer, G., E.-D. Schulze & M. Mund (1997) Nutrient contents and concentrations in relation to growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* along a European transect. *Tree Physiology* 17(12): 777-786.
- Bonten, L.T.C., J.P. Mol-Dijkstra, R. Wieggers, G.J. Reinds (2012) GrowUP: A tool for computing forest growth, nutrient uptake and litterfall, In: M. Posch, J. Sloatweg & J.-P. Hettelingh (eds.), *Modelling and Mapping of Atmospherically -induced Ecosystem Impacts in Europe*. CCE Status Report 2012, WGE-CCE, Bilthoven, The Netherlands, pp. 43-48.
- Boumans L., E.J.W. Wattel-Koekkoeck & E. van der Swaluw (2014) Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties : Verzuring en vermesting 1989-2010. RIVM-Rapport 680720005.
- Buishand, T.A. (1982) Het verloop van het potentiële neerslagoverschot in een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtegraad. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 22: 11-19.
- Burg, A. van den, A. Dees, T. Huigens, R.J. Bijlsma & R. de Waal (2014) Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hogere zandgronden. Directie Agro kennis, Ministerie van EZ. Rapport 2014/OBN186-DZ, Den Haag.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp (1995a) Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel A: Bodem. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19A.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp (1995b) Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19D.
- CDG (2002) Rapport bosschade De Belten & Pinetum. Utrecht, Commissie van Deskundige Grondwaterwet. CDG 02.2000/3.
- Delft, S.P.J. van & E.E.J.M. Leeters (1989) Bodemgesteldheid, vegetatie en bodemgeschiktheid voor bosbouw van Boswachterij Mastbos: de invloed van de bodemgesteldheid op de groeiverwachting voor 14 boomsoorten. Wageningen, Staring Centrum. Rapport / Staring Centrum 19.
- Delft, S.P.J. van (1991) Invloed van grondwaterstands daling op de houtbijgroei van bos rond het pompstation Vessem. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport / DLO-Staring Centrum 87.
- Delft, S.P.J. van (2013) Meta-data beschrijving HumBase. Nota. Alterra, Wageningen.
- Delft, S.P.J. van, G.J. Maas & R.W. de Waal (2015) De Landschapsleutel OnLine. <http://landschapsleutel.wur.nl/>. Wageningen, Alterra – Wageningen UR.
- Hagen-Thorn, A., S. Armolaitis, I. Callesen & I. Stjernquist (2004) Macronutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate forest species planted at the same sites. *Annals of Forest Science* 61(6): 489-498.
- Jaarsveld, H. van, G.J. Reinds, A. van Hinsberg & M. van Esbroek (2010) Depositie van basische kationen in Nederland. PBL rapport M00093/01/VZ
- Jacobsen, C., P. Rademacher, H. Meesenburg & K.J. Meiwes (2002) Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten – Literaturstudie und Datensammlung. Niedersächsische Forstliche Forschungs- und Versuchsanstalt, Göttingen.

- Jansen, B.H. *et al.* (1990) Hoofdstuk 8: Organische stof. Bodemkunde van Nederland; deel 1, Algemene bodemkunde. W. P. Locher en H. de Bakker. Den Bosch, Malmberg.
- Jansen, J.J., J. Sevenster & P.J. Faber (1996) Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. Wageningen, IBN-DLO. IBN rapport 221.
- Kemmers, R.H., P. Mekking & A. Smit (1996) Effecten van bosbegrazing op het humusprofiel van arme zandgronden onder naaldbos. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport / DLO - Staring Centrum 294.
- Kemmers, R.H. & R.W. de Waal (1999) Ecologische typering van bodems : Deel 1 Raamwerk en humusvormtypologie. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 667-1.
- Kemmers, R.H. & S.P.J. van Delft (2007) Stikstof-, fosfor- en kaliumbeschikbaarheid en kritische depositiewaarden voor stikstof in korte vegetaties. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1598.
- Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, M.C. van Riel, P.W.F.M. Hommel, A.J.M. Jansen, B. Klaver, R. Loeb, J. Runhaar & H. Smeenge (2011) Landschapsleutel; Leidraad voor natuurontwikkeling. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport 2140.
- Kint, V. (2013) Draagkracht van bossen voor biomassa-oogst – naar een afwegingskader voor biomassa-oogst in Vlaanderen. KOBÉ-rapport van het Agentschap voor Natuur en Bos en Inverde.
- Leeters, E.E.J.M., W. de Vries, T. Hoogland, B. van Delft, R. Wieggers, D.J. Brus, A.F.M. Olsthoorn, H.F. van Dobben & A. Bleeker (2007) What happened to our forests in the last decades? Results of more than ten years of forest ecosystem monitoring in the Netherlands. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1528.
- Maas, G.J., S.P.J. van Delft & B. Makaske, in voorbereiding. De Landschappelijke Bodemkaart van Nederland. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport
- Mahowald, N., T.D. Jickells, A.R. Baker *et al.* (2008) Global distribution of atmospheric phosphorus sources, concentrations and deposition rates, and anthropogenic impacts. *Global Biogeochemical Cycles* 22: 1-19.
- Meerts, P. (2002) Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood: a literature review. *Ann. For. Sci.* 59, 713–722.
- Newman, E.I. (1995) Phosphorus inputs to terrestrial ecosystems. *J. Ecol.* 83, 713-726.
- Nierop, L. (2010) Schadebepaling voor particulier bosbezit bij vernatting van Natte Natuurparels in Brabant. Riethoven, Bureau van Nierop. Rapport Concept 2.
- Reichle, D.E. (ed.) (1981) Properties of forest ecosystems. IBP programme 23, Cambridge University Press.
- Schoonderwoerd, H. & W.P. Daamen (1995) De bijgroei van bos in Nederland. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 67: 16-22.
- Schelhaas, M.J., A.P.P.M. Clercx, W.P. Daamen, J.F. Oldenburger, G. Velema, P. Schnitger, H. Schoonderwoerd & H. Kramer (2014) Zesde Nederlandse Bosinventarisatie: methoden en basisresultaten. Wageningen, Alterra Wageningen UR.
- Schütz, P.R. & G. van Tol (1990) Aanleg en beheer van bos en beplantingen. Wageningen, Puduc, 504 p.
- Sluijs, P. van der & H.C. van Heesen (1989) Veranderingen in de berekeningen van de GHG en GLG. *Landinrichting* 29: 18-21.
- Soesbergen, G.A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden & H.A.J. van Lanen (1986) De interpretatie van bodemkundige gegevens; systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Stiboka-rapport 1967.
- Vilén, T., J. Meyer, E. Thürig, M. Lindner & T. Green (2005) Improved regional and national level estimates of the carbon stock and stock change of tree biomass for six European countries/Improved national estimates of the carbon stock and stock change of the forest soils for six European countries. CarboInvent report WP6-D6.1_D6.2-EFI.
- Vis, T. (1974) Veldbodemkundig onderzoek naar het verband tussen bos en bodem op humuspodzolgronden. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 46(5): 94-111.
- Vries, F. de (1999) Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 654.
- Vries, W. de, M. Posch & J. Kämäri (1989) Simulation of the long-term soil response to acid deposition in various buffer ranges. *Water, Air, and Soil Pollution* 48 (3-4), 349-390.
- Vries, W. de & P.C. Jansen (1994) Effects of acid deposition on 150 forest stands in The Netherlands. 3. Input output budgets for sulphur, nitrogen, base cations and aluminium. Wageningen, The

-
- Netherlands, DLO-Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Report 69.3, 60 pp.
- Vries, W. de, J.J.M. Van Grinsven, N. Van Breemen, E.E.J.M. Leeters & P.C. Jansen (1995) Impacts of acid atmospheric deposition on concentrations and fluxes of solutes in Dutch forest soils. *Geoderma* 67: 17-43.
- Vries, W. de & 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.
- Vroon, H.R.J. (1997) Bosschade door grondwateronttrekking op de landgoederen De Leien en Eikenlust; resultaten van een bodemgeografisch onderzoek en de gevolgen van de grondwaterstandsverlaging voor de houtbijgroei van bomen. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Staring Centrum-Rapport 553.
- Vroon, H.R.J. (2000) Groeigrafieken van bomen ter bepaling van de opbrengstverandering door grondwaterstandswijzigingen. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-Rapport 036.
- Vroon, H.R.J. (2001) Bodemkundig-hydrologisch onderzoek op het bosperceel van de heer Coerman, gelegen aan de Marsweg te Gorssel. Wageningen, ALTERRA - Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 270.
- Waal, R.W. de, R.J. Bijlsma, E.M. Dijkman & M.M. van der Werff (2001) Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems. *De Levende Natuur* 102(3): 118-122.
- Waenink, A.W. (1974) Bodemvegetatie als hulpmiddel bij de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor de Japanse lariks. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 46(4): 63-78.
- Waenink, A.W. & K.R. van Lynden (1988) Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bos; deel 1: Opbouw en uitgangspunten. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 60(1): 12-22.
- Waenink, A.W. & K.R. van Lynden (1989) Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bos; deel 2: Verificatie en toepassing. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 61(3): 81-87.
- Whittaker R.H., F.H. Bormann, G. Likens, G. Siccama (1979) The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production. *Ecology Monograph*, 44:233-252.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot & J. Stolte (2001) Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 153.

Bijlage 1 Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de bosbouw

Bas van Delft

B1.1 Inleiding en werkwijze

In de periode van 1977 t/m 1989 werd door de Stichting voor Bodemkartering en haar opvolger DLO-Staring Centrum bij boswachterijkarteringen voor Staatsbosbeheer gebruikgemaakt van een systeem voor bodemgeschiktheidsbeoordeling dat is gebaseerd op een aantal belangrijk geachte bodemfactoren of beoordelingsfactoren (Waenink & Van Lynden, 1988, 1989). Daarnaast wordt het systeem ook nog steeds voor andere toepassingen ingezet, bijvoorbeeld bij het beoordelen van droogteschade door waterwinningen (o.a. Van Delft, 1991; Vroon, 2001; CDG, 2002). In de jaren tachtig verschoof de puur houtteeltkundige functie naar meervoudige functies van het bos en de daaruit voortvloeiende doelstelling van de bosbouw.

In het bodemgeschiktheidssysteem voor bosbouw wordt niet alleen gebruikgemaakt van bodemkaarten en grondwatertrappenkaarten, maar tevens van een vegetatiekaart volgens de indeling van Bannink *et al.* (1973). De op deze manier gekarteerde Boswachterijen lagen vrijwel allemaal op de Hogere Zandgronden (Figuur B1.1).

Legenda

■ Boswachterijkarteringen Stiboka/Staring Centrum

FGR Fysisch Geografische Regio's

- Duinen
- Afgesloten zeearmen
- Getijdengebied
- Heuvelland
- Hogere Zandgronden
- Laagveengebied
- Niet ingedeeld
- Noordzee
- Rivierengebied
- Zeekleigebied



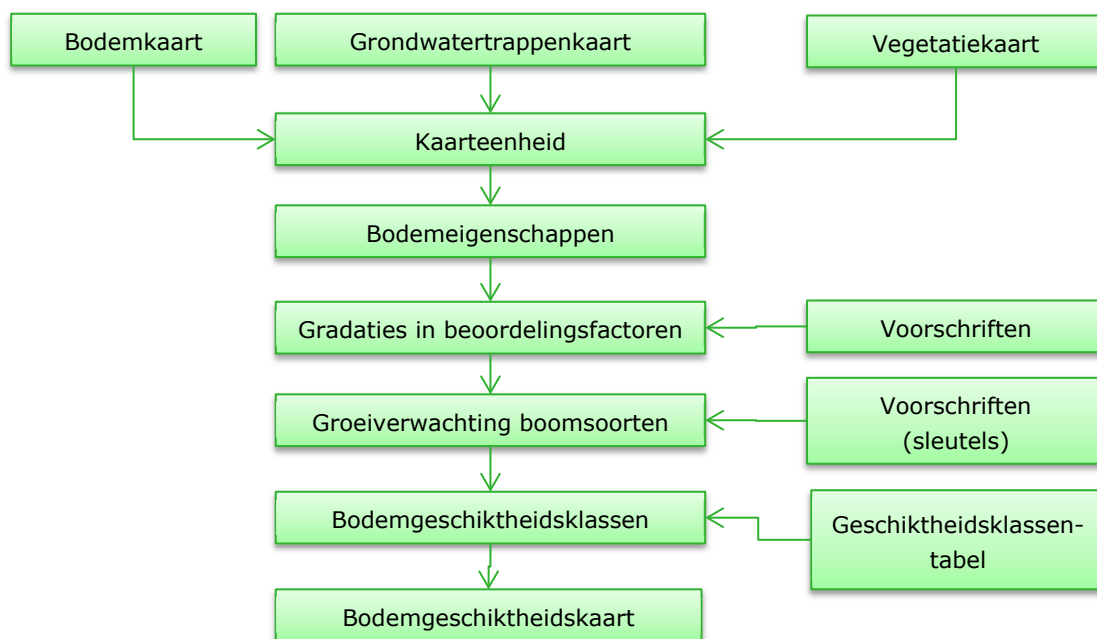
Figuur B1.1 Ligging van de boswachterijkarteringen van Stiboka en Staring Centrum binnen de Fysisch Geografische Regio's.

Met de veranderingen van de beheerdoelstellingen vanaf eind jaren tachtig kwam voor de boswachterijen een eind aan de op de houtteelt gerichte geschiktheidsbeoordelingen. Voor het vaststellen van bosschade door waterwinningen is het nog steeds de aangewezen methode (Nierop, 2010).

De uitgangspunten van de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de bosbouw zijn nog steeds van kracht en bruikbaar bij het inschatten van de houtaanwas van bos voor het berekenen van de onttrekking van elementen uit de bodem. De werkwijze van de geschiktheidsbeoordeling en het vaststellen van de beoordelingsfactoren wordt in de onderstaande paragrafen toegelicht. De teksten in deze paragrafen zijn grotendeels letterlijk overgenomen uit de *'Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik'* (Ten Cate et al., 1995b).

Het doel van de bodemgeschiktheidsbeoordeling is:

Door interpretatie vast te stellen in welke mate de verschillende gronden geschikt zijn voor bosbouw, uitgaande van de bodemkaart, de grondwatertrappenkaart en de vegetatiekaart (Figuur B1.2).



Figuur B1.2 Schema van de interpretatieprocedure bij de beoordeling van de bodemgeschiktheid voor bosbouw (naar Waenink & Van Lynden, 1988).

Geschiktheidsbeoordelingen gaan ervan uit dat een grond geschikter is naarmate er meer boomsoorten op kunnen groeien en hun groei beter is. De geschiktheid van een grond voor bosbouw is dus afhankelijk van de groeimogelijkheden van de verschillende boomsoorten op die grond. Om de gronden op hun geschiktheid te beoordelen, wordt van elke combinatie van bodemeenheid, grondwatertrap en vegetatietype het niveau of de grootte vastgesteld van vier beoordelingsfactoren (zie ook § B1.2 t/m B1.5):

- de ontwateringstoestand
- het vochtleverend vermogen
- de voedingstoestand
- de zuurgraad

Een beoordelingsfactor is een met de grond samenhangende factor die een voor het bodemgebruik belangrijk proces, een gedragsaspect van de grond of een groeiplaatsomstandigheid karakteriseert met een bepaald niveau (Van Soesbergen et al., 1986). Soms worden er ook niet-bodemkundige factoren in betrokken. De beoordelingsfactor vochtleverend vermogen wordt bijvoorbeeld bepaald door de bodemeigenschappen textuur van boven- en ondergrond, humusgehalte, bewortelbare diepte,

grondwaterstandsverloop en door de klimaatfactoren neerslag en verdamping. Het niveau of de grootte van een door een beoordelingsfactor aangeduid proces of gedragsaspect van de grond, wordt aangegeven met een waarderingscijfer (gradatie). De genoemde combinaties van bodemeenheid, grondwatertrap en vegetatietype worden via een sleutel toegekend aan geschiktheidsklassen (§ B1.6).

B1.2 Ontwateringstoestand

De ontwateringstoestand is niet alleen een aanduiding voor de ontwatering, maar ook voor de luchthuishouding van een grond. De ontwateringstoestand geeft daardoor ook informatie over de zuurstofvoorziening van de plantenwortels en over de wijzigingen die zich hierin voordoen in de loop van het jaar onder invloed van neerslag, verdamping en afvoer. Het gaat vooral om de bovenste 50 tot 100 cm van de grond waarin zich de meeste plantenwortels bevinden en waarin zich het bodemleven afspeelt. De grondwaterstand bepaalt in belangrijke mate het lucht- en watergehalte van de grond. Ook de poriënfractie en de poriëngrootteverdeling is van invloed.

Er worden vijf gradaties van ontwatering onderscheiden (Tabel B1.1). Als richtlijn voor de vaststelling van de gradaties fungeert de gemiddeld hoogste wintergrondwaterstand (GHG) als referentiewaarde.

Tabel B1.1

Gradaties in ontwateringstoestand zoals afhankelijk van de grondwatertrap (Ten Cate et al., 1995b).

Gradatie		Grondwatertrap (Gt)	GHG-referentiewaarde (cm - mv.)
code	benaming		
1	zeer diep	IVc, VII, VIII	≥80
2	vrij diep	IIc, IV, VI	40- 80
3	matig diep	IIb, IIIb, Vb	25- 40
4	vrij ondiep	II, III, V, soms I	15- 25
5	zeer ondiep	I, soms II	<15

B1.3 Vochtleverend vermogen

Onder vochtleverend vermogen van de grond wordt de hoeveelheid vocht verstaan die in een groeiseizoen van 150 dagen (1 april tot 1 september) en in een droog jaar (een zgn. 10% droog jaar) aan de plantenwortel kan worden geleverd. In een droog jaar overtreft de potentiële verdamping tijdens het groeiseizoen de neerslag met meer dan 200 mm (Tabel B1.2).

Tabel B1.2

Gemiddeld neerslagtekort (mm) vanaf 1 april in een groeiseizoen van 150 dagen in een zgn. 10% droog jaar (Buishand, 1982).

Periode	Neerslagtekort
1 april-1 mei	20
1 april-1 juni	65
1 april-1 juli	115
1 april-1 augustus	165
1 april-1 september	200

Deze situatie doet zich statistisch eens in de 10 jaar voor, uitgaande van gegevens van het KNMI-station De Bilt die gelden voor een fictief gewas (bij benadering gras). Er worden vijf gradaties onderscheiden (Tabel B1.3).

Tabel B1.3

Gradatie in vochtleverend vermogen als afhankelijke van de hoeveelheid vocht. De millimeters vocht achter iedere gradatie duiden de orde van grootte van het vochtleverend vermogen aan.

Gradatie		Hoeveelheid vocht in mm
code	benaming	
1	zeer groot	≥200
2	vrij groot	150-200
3	matig	100-150
4	vrij gering	50-100
5	zeer gering	< 50

Het vochtleverend vermogen van de grond is afhankelijk van:

- de aard en opbouw van het bodemprofiel; belangrijk zijn vooral de dikte en het vochthoudend vermogen van de wortelzone en het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond (kritieke z-afstand);
- het grondwaterstandsverloop; hiervan zijn vooral de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand in een 10% droog jaar (LG3) van betekenis.

Bewortelingsmogelijkheden

De wortelzone is de grondlaag waarin zich het overgrote deel van de wortels bevindt. Voor het vaststellen van het vochtleverend vermogen van een grond moet de dikte van de wortelzone bekend zijn. Daarom wordt allereerst vanuit de bodemkunde nagegaan wat de bewortelingsmogelijkheden van het profiel zijn: de bewortelbare diepte van de grond waarin de plantenwortels kunnen doordringen. Deze diepte hangt samen met een of meer beperkende factoren voor wortelgroei: pH, aëratie en indringingsweerstand.

Vochthoudend vermogen

Het vochthoudend vermogen van een grond geldt voor een vorm van bodemgebruik en wordt afgeleid uit de gecorrigeerde bewortelbare diepte en de volumefractie beschikbaar water (zie Tabel B1.4).

Tabel B1.4

Volumefractie beschikbaar water in diverse grondsoorten, uitgaande van verschillende drukhoogten (h) bij veldcapaciteit.

Grondsoort	h in cm		
	-50 tot -16 000	-100 tot -16 000	-200 tot -16 000
zavel- en kleigronden			
lichte zavel	0,22	0,20	-
zware zavel	0,20	0,18	-
lichte klei	0,17	0,15	-
matig zware klei	0,13	0,12	-
zeer zware klei	0,11	0,11	-
pleistocene zandgronden ¹			
— grondwatertrap I tot en met V			
A(a)-horizont	0,30	0,25	-
B -horizont	0,25	0,20	-
— grondwatertrap VI en hoger			
A(a)-horizont (humeus, zwak lemig, matig fijn zand)	-	0,20	0,15
B -horizont (matig humusarm, zwak lemig, matig fijn zand)	-	0,15	0,10
veengronden en veenkoloniale gronden			
Ah- of Ap-horizont	0,40	0,35	-
lössgronden			
siltige leem	-	0,28	0,25

¹ Op de voor (dek)zand gegeven normen zijn eventueel correcties aan te brengen. De correctie voor een leemklasse hoger of lager dan zwak lemig (10-17,5% <50 µm) is respectievelijk + of -0,02. Verder valt de volumefractie beschikbaar water bij de hydropodzol-, gooreerd-, beekerd- en zwarte enkeerdgronden in dekzand te corrigeren met + of -0,01 voor elk procent organische stof meer of minder dan 4% in de Ah-horizont en 3% in de B-horizont.

De volumefractie beschikbaar water volgt uit de vocht karakteristieken van de wortelzone. Het verschil tussen de volumefractie water aan het begin van het groeiseizoen en die bij een drukhoogte $h = -16000$ cm (verwelkingspunt) wordt als beschikbaar verondersteld. Aan het begin van het groeiseizoen correspondeert de volumefractie water met de drukhoogte, die (afgezien van het teken) gelijk is aan de afstand van de grondwaterspiegel tot het midden van de wortelzone. De aldus bepaalde drukhoogte kan te klein zijn (denk aan minteken), dus te droog, voor de situatie met wat diepere grondwaterstanden. Voor die gevallen geldt een correctie die samenhangt met de aard van het bodemmateriaal en de capillaire eigenschappen van de ondergrond.

Voor de correctie van de drukhoogte gelden de volgende globale normen:

- voor hangwaterprofielen $h = -100$ cm, indien goed doorlatend $h = -200$ cm;
- voor opdrachtige profielen (voor bepaling van de gedachten: kritieke z-afstand groter dan 80 cm) $h = -50$ cm;
- voor weinig opdrachtige profielen (kritieke z-afstand minder dan 80 cm) $h = -100$ cm.

De uit de dikte van de wortelzone en de grondwaterspiegel bepaalde drukhoogte aan het begin van het groeiseizoen kan dus nooit kleiner zijn dan de hierboven aangegeven normen.

Kritieke z-afstand

Voor de bepaling van het vochtleverend vermogen moet, behalve met de vochtinhoud van de wortelzone, ook rekening worden gehouden met de mogelijke bijdrage vanuit het grondwater. Hierbij zijn de samenstelling van de ondergrond en uiteraard de diepte van de grondwaterspiegel belangrijke grootheden. In dit verband is de kritieke z-afstand geïntroduceerd. De kritieke z-afstand is de maximale afstand tussen de grondwaterspiegel en de onderkant van de wortelzone waarover een bepaalde vochtstroom nog mogelijk is. Aangenomen wordt dat een vochtstroom van 2 mm/dag als aanvulling op de vochtvoorraad van de wortelzone in Nederland veelal toereikend is om een gewas optimaal te laten groeien. De kritieke z-afstand voor zandgronden varieert van 40 cm in kleiarm (matig grof) rivierzand tot 180 cm in siltige leem.

Grondwaterstand aan het begin en eind van het groeiseizoen

Voor het aangeven van de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen is het begrip 'gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand' (GVG) ingevoerd. Als begin van het groeiseizoen is 1 april gekozen. Het gemiddelde van de op of omstreeks die datum gemeten grondwaterstand over een reeks van jaren is de GVG. De GVG zal altijd dieper zijn dan de GHG en des te dieper naarmate het verschil tussen de GHG en GLG groter is.

Uit grondwaterstandsgegevens zijn voor de GVG de volgende betrekkingen afgeleid (Van der Sluijs & Van Heesen, 1989):

$$GVG = 12 + 0,96 * GHG + 0,17 * (GLG - GHG) \text{ voor polders}$$

$$GVG = 4 + 0,97 * GHG + 0,15 * (GLG - GHG) \text{ voor stroomgebieden}$$

Voor gronden met een beperkte fluctuatie van het grondwater, de grondwatertrappen I, II en IV, geldt de vuistregel:

$$GVG = GHG + 15 \text{ cm}$$

Voor gronden met een ruimere fluctuatie van het grondwater, de grondwatertrappen III, V, VI, VII en VIII, kan als benadering genomen worden:

$$GVG = GHG + 20 \text{ cm}$$

De grondwaterstand aan het eind van het groeiseizoen komt bij benadering gemiddeld overeen met de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). In een 10% droog jaar, waarvan voor de schatting van het vochtleverend vermogen wordt uitgegaan, zal de grondwaterstand aan het eind van het groeiseizoen beneden het GLG-niveau liggen. Hiervoor kan het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden worden genomen: de LG3. Voor veel gronden is dit niveau 20 à 40 cm lager dan het GLG-niveau; 20 cm kan als norm worden genomen voor in polders gelegen gronden, en 40 cm voor gronden in stroomgebieden. Voor gronden met Gt I en II kan met 10 cm worden volstaan.

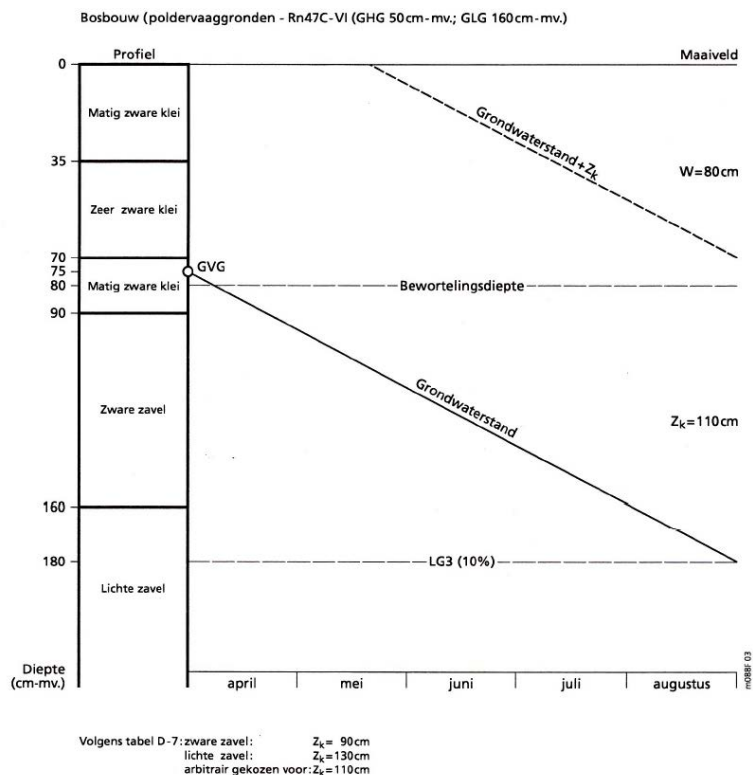
Hangwater-, grondwater- en tijdelijke grondwaterprofielen

De vaststelling van de gradatie van het vochtleverend vermogen berust op een indeling van de gronden in:

- hangwaterprofielen
- grondwaterprofielen
- tijdelijke grondwaterprofielen

Tot de *hangwaterprofielen* behoren gronden waarvan het vochtleverend vermogen bepaald wordt door de hoeveelheid beschikbaar water in de wortelzone. Deze hoeveelheid is de volume fractie water vermenigvuldigd met de dikte van de wortelzone. In het voorjaar is de afstand van de grondwaterspiegel tot de wortelzone groter dan de kritieke z-afstand, waardoor geen capillair vochttransport van enige betekenis mogelijk is. Hangwaterprofielen met een dunne wortelzone hebben gewoonlijk de gradatie 4 of 5, die met een dikke wortelzone gradatie 2 of 3 en slechts zelden gradatie 1.

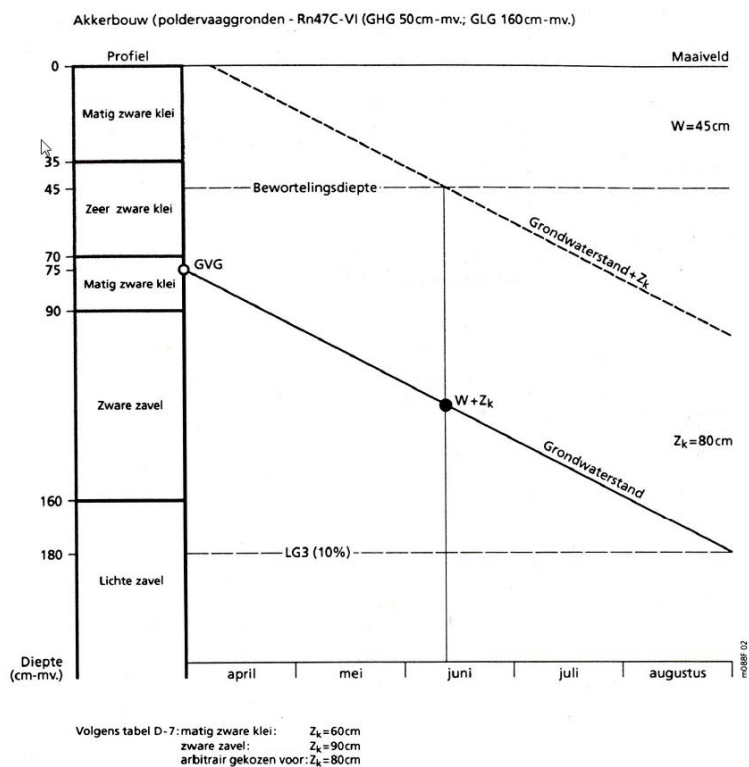
Voor *grondwaterprofielen* (Figuur B1.3) is de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen bepalend. Het gaat om gronden waarin gedurende het gehele groeiseizoen de afstand van de grondwaterspiegel tot de wortelzone een voldoende capillair transport toelaat. Een capillaire stijgsnelheid van gemiddeld 2 mm/dag wordt in dit verband beschouwd als voldoende. Dergelijke gronden krijgen een vochtleverend vermogen groter dan 200 mm (gradatie 1).



Figuur B1.3 Grondwaterprofiel bij bosbouw voor poldervaaggrond Rn47C-VI.

Tijdelijke grondwaterprofielen (Figuur B1.4) zijn gronden waarin de capillaire aanvoer slechts in een deel van het groeiseizoen voldoende is voor een wezenlijke bijdrage aan het vochtleverend vermogen. Naarmate het tijdstip waarop de kritieke z-afstand wordt overschreden later in het groeiseizoen valt, is het vochtleverend vermogen groter. Het vochtleverend vermogen van tijdelijke grondwaterprofielen in eerste instantie bepaald uit het grondwaterstandsverloop in een 10% droog jaar. Door uit te gaan van een lineair grondwaterstandsverloop kan hieruit bij benadering het tijdstip worden bepaald waarop de kritieke z-afstand wordt overschreden (Figuur B1.4). De aanname is dat tot dat tijdstip het bodem-watersysteem voldoende vocht kan leveren om te voldoen aan het neerslagtekort. Uit Tabel B1.2 blijkt dat de bodem 115 mm vocht kan leveren als de kritieke z-afstand omstreeks 1 juli wordt overschreden. Gebeurt dit omstreeks 1 augustus, dan kan de bodem 165 mm leveren. In het

voorbeeld in Figuur B1.4 is dat rond 10 juni, de bodem heeft dan ca. 80 mm vocht kunnen leveren. Het profiel krijgt dan gradatie 3 voor het vochtleverend vermogen (matig, zie Tabel B1.3). De verkregen waarde voor het vochtleverend vermogen is de eindschatting, tenzij de hoeveelheid hangwater groter is. In dat geval wordt vochtleverend vermogen gelijk aan de beschikbare hoeveelheid hangwater, bepaald op dezelfde wijze als bij de hangwaterprofielen. In het voorbeeld in Figuur B1.4 is de beoordeling uitgevoerd voor akkerbouw, waarbij gerekend is met een *bewortelingsdiepte* van 45 cm. Voor bosbouw is, mits de *bewortelbare diepte* groot genoeg is, de *bewortelingsdiepte* (veel) groter. Figuur B1.3 laat zien dat hetzelfde profiel, met hetzelfde grondwaterstandsverloop maar een grotere bewortelingsdiepte, voor bosbouw als grondwaterprofiel beschouwd kan worden omdat gedurende het gehele groeiseizoen voldoende capillaire nalevering plaatsvindt.



Figuur B1.4 Tijdelijk grondwaterprofiel bij akkerbouw voor poldervaaggrond Rn47C-VI.

B1.4 Voedingstoestand

De voedingstoestand duidt de vruchtbaarheid van een grond aan (gehalte aan voor de boomgroei noodzakelijke voedingsstoffen), die voorkomt wanneer deze grond ten minste de laatste 10 à 15 jaar met bos of met een half-natuurlijke vegetatie is begroeid en in die periode niet (meer) is bekalkt of bemest. De voedingstoestand geldt alleen bij de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor bosbouw. Er zijn vijf gradaties (Tabel B1.5).

Tabel B1.5

Code en benaming van de gradaties in de voedingstoestand.

Code	Benaming
1	zeer hoog
2	vrij hoog
3	matig
4	vrij laag
5	zeer laag

De voedingstoestand wordt afgeleid uit de bodem en het bodemgebruik (Tabel B1.6) en eventueel uit de spontane vegetatie (Tabel B1.6 en B1.7). De ingang van Tabel B1.6 wordt gevormd door de legenda-eenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (kolom 1 en 2). Uit kolom 3 (code legendagroep) blijkt dat deze legenda-eenheden voor de bosbouwsleutel worden gecodeerd als 1, 2 en 3. Bij de toekenning van de gradaties is er onderscheid tussen gronden die een agrarisch bodemgebruik hebben en gronden onder bos of in natuurterreinen. Op gronden met agrarisch bodemgebruik zijn vrijwel alle boomsoorten ruimschoots van de nodige voedingsstoffen voorzien. Deze gronden krijgen dan ook een zeer hoge of vrij hoge gradatie in voedingstoestand (1 of 2) toe, die uit kolom 4 van Tabel B1.6 is af te lezen.

Gronden in natuurterreinen en onder bos hebben een onderverdeling naar spontane vegetatie. Dergelijke gronden behorend tot dezelfde legenda-eenheid, hebben namelijk niet overal dezelfde voedingstoestand. Deze blijkt samen te hangen met de verschillen in vegetatietype in de kruidlaag. Deze relatie is onderzocht in naaldboutbossen (Bannink *et al.*, 1973; Waenink, 1974; Vis, 1974). De samenhang tussen vegetatietype en voedingstoestand wordt echter ook verondersteld aanwezig te zijn in andere bossen en natuurterreinen. Daarom gelden ook daar de vegetatietypen uit Tabel B1.7. Uit de resultaten van bovengenoemd onderzoek is gebleken dat op dezelfde grond bij aanwezigheid van een 'arm' vegetatietype een geringere boomgroei voorkomt dan bij een 'rijker' vegetatietype. Met deze kennis kan een redelijke voorspelling van de boomgroei worden gegeven als, naast gegevens over de grond, het vegetatietype bekend is.

Toelichting op gebruik van de Tabel B1.6 en B1.7

Tabel B1.7 wekt de suggestie dat alle vegetatietypen op alle gronden kunnen voorkomen, hetgeen beslist niet het geval is. Zo beperkt het gezelschap van Duinriet en Zandzegge (KO) zich vrijwel tot de kalkhoudende duinvaaggronden. Voor de vaststelling van de gradaties is daarom zowel de bodem (Tabel B1.6, kolom 1 en 2) als de erop groeiende spontane vegetatie van belang. Tabel B1.7 geeft een overzicht van de voor dit doel gebruikte indeling in vegetatietypen met de daarbij behorende codes. De vegetatietypen staan gerangschikt in een zogenaamde ecologische reeks van 'arm' naar 'rijk' respectievelijk van boven naar beneden. Aangenomen wordt dat de 'arme' typen op een relatief laag en de 'rijke' typen op een relatief hoog gehalte aan voor de bomen noodzakelijke voedingsstoffen wijzen. Met behulp van Tabel B1.6 kan bij elke combinatie van bodem (kolom 1 en 2) en vegetatie (corresponderend met de vegetatietypen uit Tabel B1.7) de gradatie van de voedingstoestand worden afgelezen in de subkolommen (onder de vegetatietypen) van de laatste hoofdkolom ('Gradaties in voedingstoestand'). Zo heeft een veengrond met bodemcode hV en vegetatietype R2 een gradatie 3 voor de voedingstoestand. Voor de code van de gradatie van de voedingstoestand (1 t/m 5) wordt de code van de legenda-groep toegevoegd (1 t/m 3). Deze is noodzakelijk om de geschiktheidsklasse voor de bosbouw vast te stellen met behulp van de sleutel in Tabel B1.9.

Tabel B1.6

Sleutel voor het vaststellen van de gradatie in de voedingstoestand als afhankelijke van legenda-eenheid, bodemgebruik en vegetatietype.

Legenda van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000			Gradaties in voedingstoestand																	
Hoofdklassen	Codes legenda-eenheden	Code legenda-groep	Agrar. bodem-gebruik	Vegetatietypen in bos- en natuurterreinen (Bannink et al., 1973)																
				0	K3	K2	K1	Z	K0	R4	R3	R2	R1.2	R1.1	H2	H1	A2	A1	A0	
					VII		VI			V		IV	III		II		I			
Veengronden (V)	hV, hEV, pV, kV	1	1	1-4	1	2				3				4						
	aV, aEV, zV, IV, V		2	2-5	2	3				4				5						
Moerige gronden (W)	vWz (kleiïge bovengrond), kWz, uWz	2	1	1-4	1	2				3				4						
	vWz (kleiarne bovengrond), iWz, zWz, vWp, iWp, kWp		2	2-5	2	3				4				5						
	Wo, Wg	3	1	1-4	1	2				3				4						
Podzolgronden (H en Y)	Y, Yb, cY	2	2	2-4	2				3				4							
	Hn, kHn, cHn, Hd, cHd, (Y30)		2	2-5	2	3				4				5						
Brikgronden (BK en BL) en Leemgronden (L)	BL6, BK, pL6, L6	2	1	1-4	1	2				3				4						
	BL5, BZ, pL5, L5		2	2-4	2				3				4							
Dikke eerdgronden (E)	EK	2	1	1-4	1	2				3				4						
	EZg, bEZ, EL		2	2-4	2				3				4							
	zEZ, (bEZ30)		2	2-5	2	3				4				5						
Kalkloze zandgronden (Z)	kpZg, kpZn, kZn, (pZg23 en Zn23 met 5-8% lutum)	2	1	1-4	1	2				3				4						
	pZg, Zb		2	2-4	2				3				4							
	pZn, tZd, cZd, Zn, Zd		2	2-5	2	3				4				5						
Kalkhoudende zandgronden (Z...A) en Bijzondere lutumarme gronden (S)	alle eenheden	2	1	1-4	1	2				3				4						
Zeekleigronden (M) en Rivierkleigronden (R)	alle eenheden (zavel)	2	1	1-4	1	2				3				4						
	alle eenheden (klei)	3	1	1-4	1	2				3				4						
Oude kleigronden (K)	pKR, KR (zavel)	2	1	1-4	1	2				3				4						
	pKR, KR (klei)	3	1	1-4	1	2				3				4						
	KM, KG, KD, KT, KX (zavel)	2	1	1-5	1	2			3		4			5						
	KM, KG, KD, KT, KX (klei)	3	1	1-5	1	2			3		4			5						

Tabel B1.7

Vegetatietypen in Nederlandse bossen (naar Bannink et al., 1973, gedeeltelijk herzien in 1985 en 1987).

Lichte bossen ¹		Donkere bossen ¹	
Gezelschap van:	code Bannink et al.	Gezelschap van:	code Bannink et al.
Zandzegge en Ruig Haarmos (veel open zand)	A0	²	
Rendiermos en Zand-Gaffeltand	A1	Kantjesmos en Klauwtjesmos	I
Rendiermos en Klauwtjesmos	A2		
Bronsmos, Klauwtjesmos en Gewoon Gaffeltandmos	H1	Kronkelsteeltje en Gewoon Sterremos	II
Bronsmos en Groot Laddermos	H2		
Bronsmos, Bochtige smele en Struisgrassen	R1.1	Kronkelsteeltje, Wilde lijsterbes en Knikkend wilgeroosje	III
Bronsmos en Wilde Lijsterbes	R1.2		
Braam, Stekelvaren en Groot Laddermos	R2	Stekelvaren en Liggend walstro	IV
Gladde witbol, Valse salie en Braam	R3	Wilde kamperfoelie, Stekelvaren en Drienerfmuur	V
Framboos en Braam	R4		
Duinriet en Zandzegge (veel open zand)	K0	²	
Witte klaverzuring, Hazelaar en Drienerfmuur	Z	Rankende helmbloem, Witte klaverzuring, Stekelvaren en Braam	VI
Grote brandnetel en Stekelvaren	K1		
Dauwbraam, vlasbekje en Hondstong	K2	Witte klaverzuring, Dauwbraam, Robertskruid en Speenkruid	VII
Dauwbraam en Robertskruid	K3		

¹Afwezigheid van spontane vegetatie in bossen geven we aan met code 0.

²Heeft geen tegenhanger in donker bos.

B1.5 Zuurgraad

De beoordelingsfactor zuurgraad geeft een aanduiding over de zuurgraad in de bewortelbare zone van een grond die optreedt wanneer deze grond ten minste de laatste 10 à 15 jaar met bos of met een half-natuurlijke vegetatie is begroeid en in die periode niet (meer) is bekalkt of bemest. Deze factor geldt alleen voor de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor bosbouw.

De zuurgraad is van betekenis voor de groei van bomen. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat bij naaldboomsoorten (met uitzondering van *Pinus nigra*) op gronden met pH-KCl > 4,5 à 5 storingen in de voedingsstoffenhuishouding optreden die op den duur hun weerslag hebben op de groei. Op sterk zure gronden (pH-KCl < circa 3,5) kan de groei van loofboomsoorten, vooral van populier en es, ernstig worden belemmerd. Er zijn drie gradaties (Tabel B1.8).

Tabel B1.8

Gradatie in zuurgraad als afhankelijke van de pH-KCl.

Gradatie		pH-KCl
code	Benaming	
1	neutraal	≥6,5
2	zwak zuur	4,5-6,5
3	sterk zuur	<4,5

In het algemeen geldt dat kalkrijke gronden gradatie 1 hebben. Kalkloze (voor zover geen katteklei) en kalkarme zeeklei- en rivierkleigronden en een deel van de beekeerdgronden, leemgronden en oude kleigronden hebben gradatie 2. De overige gronden, de kalkloze pleistocene zandgronden en veel veengronden (zonder zavel- of kleidek), hebben gradatie 3. Hoewel het niet is voorgeschreven, kan het nuttig zijn gronden met pH-KCl <3,5 te signaleren.

B1.6 Bodemgeschiktheidsclassificatie

De bodemgeschiktheidsclassificatie groepeerde gronden naar hun geschiktheid voor een bepaald bodemgebruik in een beperkt aantal geschiktheidsklassen. Elke vorm van bodemgebruik heeft een eigen bodemgeschiktheidsclassificatie. Deze bestaat uit drie hoofdklassen, met elk een klein aantal, gewoonlijk twee tot vier, klassen. Voor de bosbouw worden drie klassen onderscheiden. Gronden met klasse 1 hebben ruime mogelijkheden voor bosbouw, met klasse 2 beperkte en met klasse 3 weinig mogelijkheden.

De bodemgeschiktheid van de grond is de mate waarin die grond voldoet aan de eisen van een bepaald bodemgebruik. Of de met de bodemgeschiktheidsklasse aangegeven mogelijkheden voor het bodemgebruik ook werkelijk verwezenlijkt kunnen worden, hangt niet alleen van de bodemgesteldheid af. Factoren als landinrichtingssituatie, bedrijfsinrichting, bedrijfsvoering en graad van mechanisatie zijn mede van groot belang voor de te behalen resultaten. Voor bosbouw moet daarbij gedacht worden aan de kwaliteit van het plantmateriaal, (plantgat)bemesting bij aanleg of het optreden van ziekten en plagen. Deze 'niet-bodemfactoren' worden niet in de geschiktheidsbeoordeling betrokken, maar zijn wel van invloed op de actuele aanwas van een opstand. De beoordeling geldt voor bos dat goed wordt beheerd en dat bestaat uit ongemengde gelijk-jarige opstanden.

Daarnaast zijn er veranderingen op het gebied van klimaat, stikstofdepositie en beheer die van invloed kunnen zijn op de bosgroei. De invloed van klimaatverandering (temperatuur, neerslagverdeling en CO₂-concentraties) op boomgroei is nog volop in studie. In vergelijking met de jaren zeventig en tachtig heeft ook de toegenomen stikstofdepositie invloed op de boomgroei; enerzijds door toegenomen stikstofbeschikbaarheid, anderzijds door verzuring (Leeters *et al.*, 2007). Ook veranderingen in het vegetatiebeheer (begrazing) zullen geleid hebben tot veranderingen in de samenstelling van de vegetatie, maar wellicht ook in de nutriëntenbeschikbaarheid (Kemmers *et al.*, 1996). Hierbij moet zeker opgemerkt worden dat juist het achterlaten van dood hout in het bos in de laatste decennia tot een toename van de nutriëntenvoorraden en vochthoudend vermogen van de strooisellaag in het bos heeft geleid. Voor de sterke toename van stekelvarens in bossen op arme zandgronden werd gevonden dat deze vooral is opgetreden op plekken waar dood hout is blijven liggen, waarbij de vestiging van stekelvarens vooral aan de vochthoudendheid van het verterende hout wordt toegeschreven en niet aan de stikstofdepositie (De Waal *et al.*, 2001). Met de huidige kennis is het niet goed mogelijk het precieze effect van deze veranderingen in de geschiktheidsbeoordeling te betrekken. Voor de toepassing in dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat de principes van de geschiktheidsbeoordeling nog steeds geldig zijn. Dat blijkt ook uit de ervaringen in de bosschadestudies (Vroon, 2001; Nierop, 2010).

Het toekennen van de geschiktheid aan de kaarteenheden (zie Figuur B1.2) gebeurt met behulp van een sleutel (Tabel B1.9) aan de hand van de ontwateringstoestand, het vochtleverend vermogen, de legendagroep (kolom 3 uit Tabel B1.6), de zuurgraad en de voedingstoestand. Een aantal combinaties van beoordelingsfactoren komt in de praktijk niet voor. Voor de uniformiteit worden aan dergelijke combinaties wel geschiktheidsklassen toegekend.

Tabel B1.9

Sleutel voor de vaststelling van hoofdklassen en klassen van de bodemgeschiktheid voor bosbouw.

Ontwaterings-toestand	Vocht-leverend vermo-gen	Legendagroep																													
		2					1 of 2					3																			
		1					2					3					1					2					3				
		Voedingstoestand																													
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5						
1	1		1.3				1.3					1.1		2.1			1.3			1.3			1.3								
	2		2.1				2.1								2.1			2.1			2.1				3.1						
	3																							2.2							
	4				3.1				3.2		2.2						3.1					3.2									
	5																														
2	1		1.3				1.3					1.1		2.1			1.3			1.3			1.3								
	2		2.1				2.1								2.1			2.1			2.1				3.1						
	3																							2.3							
	4				3.1				3.2		2.2						3.1					3.2									
	5																														
3	1		1.3				1.3					1.1		1.2	2.1			1.3			1.3			1.3							
	2		2.1				2.1									2.1			2.1			2.1			3.1						
	3											1.2						2.1			2.1										
	4				3.1				3.2		2.2							3.1						2.2							
	5																														
4	1			2.3			2.3					2.1						2.3			2.3										
	2																							2.3							
	3				3.1																3.1				3.1						
	4																														
	5				3.2													3.2													
5	1, 2 of 3																														
	4 en 5											3.1																			

De indeling in geschiktheidsklassen berust op de boomgroei en het assortiment boomsoorten. Voor de classificatie zijn zeven boomsoorten gebruikt die in de Nederlandse bosbouw veel voorkomen: populier, zomereik, beuk, grove den, douglasspar, Japanse lariks en fijnspar. Met deze zogenaamde gidsboomsoorten kan voldoende onderscheid worden gemaakt tussen gronden, die meer of minder geschikt zijn voor de bosbouw. In Tabel B1.10 staat wat onder goede, normale en slechte groei van deze boomsoorten in termen van gemiddelde jaarlijkse aanwas per ha wordt verstaan. Deze tabel is indertijd opgesteld in nauw overleg met IBN-DLO (voorheen De Dorschkamp, nu opgegaan in Alterra) en Staatsbosbeheer. Er zijn aanwijzingen dat deze cijfers niet meer geheel actueel zijn en dat de aanwas bij respectievelijk slechte, normale of goede groei hoger is dan in Tabel B1.10 is weergegeven.

Tabel B1.10

Gemiddelde aanwas bij goede, normale en slechte groei van gidsboomsoorten zoals gehanteerd bij de boswachterijkartheringen in de jaren zeventig en tachtig (o.a. Van Delft & Leeters, 1989).

Boomsoort	Indeling per groeiklasse naar						Opbrengsttabellen	
	S-waarde (m)			Culminatie-waarde van de gemiddelde aanwas (m ³ /(ha.j))				
	1	2	3	1	2	3		
Populier (Robusta)	≥40	32-40	<32	≥17,0	12,5-17,0	<12,5	Robustapopulier,	"De Dorschkamp", 1975a)
Wilg	≥32	24-32	<24	≥13,0	8,0-13,0	< 8,0	Marilandicapopulier,	"De Dorschkamp", 1975a)
Zwarte els	≥22	16-22	<16	-	-	-	Opbrengsttabel ontbreekt	
Es en Esdoorn	≥25	20-25	<20	≥ 7,2	4,0- 7,2	< 4,0	Es,	"De Dorschkamp", 1971b)
Zomereik	≥30	22-30	<22	≥ 6,5	3,5- 6,5	< 3,5	Eik,	"De Dorschkamp", 1974b)
Beuk	≥30	22-30	<22	≥ 6,8	3,4- 6,8	< 3,4	Beuk,	"De Dorschkamp", 1974b)
Amerikaanse eik	≥28	23-28	<23	≥ 8,4	5,5- 8,4	< 5,5	Am. eik,	"De Dorschkamp", 1971
Grove den	≥27	21-27	<21	≥ 6,6	4,2- 6,6	< 4,2	Grove den,	"De Dorschkamp", 1977c)
Douglas	≥37	29-37	<29	≥13,5	8,8-13,5	< 8,8	Douglas,	"De Dorschkamp", 1971
Japanse larix	≥26	20-26	<20	≥11,9	7,2-11,9	< 7,2	Jap. larix,	"De Dorschkamp", 1977d)
Fijnspar en Sitkaspar	≥36	28-36	<28	≥12,3	7,6-12,3	< 7,6	Fijnspar,	"De Dorschkamp", 1971
Corsicaanse den (binnenland)	≥35	26-35	<26	≥12,4	7,4-12,4	< 7,4	Cors. den (binnenland),	"De Dorschkamp", 1971
Corsicaanse den (kustgebied)	≥26	17-26	<17	≥ 8,9	4,0- 8,9	< 4,0	Cors. den (kustgebied),	"De Dorschkamp", 1971
Oostenrijkse den (binnenland)	≥26	20-26	<20	≥ 8,5	5,4- 8,5	< 5,4	Oost. den (binnenland),	"De Dorschkamp", 1971
Oostenrijkse den (kustgebied)	≥21	16-21	<16	≥ 6,9	4,2- 6,9	< 4,2	Oost. den (kustgebied),	"De Dorschkamp", 1971

1 = goede groei
2 = normale groei
3 = slechte groei

a) aanwas in m³/(ha.j) bij plantverband 4 x 4 m
b) aangepaste Britse tabel van 1966
c) aangepaste tabel Grandjean en Stoffels 1955
d) herziene hoogtegroeigegevens van tabel 1971

Naast de sleutel voor het vaststellen van de bodemgeschiktheidsklassen voor de bosbouw (Tabel B1.9), bestaat er een sleutel voor detailkartheringen met dezelfde ingangen, waarin de verwachte groei van de zeven gidsboomsoorten uit Tabel B1.10 en zeven aanvullende boomsoorten staan aangeven. Deze sleutel bestaat uit drie delen voor de beoordeling van respectievelijk de veengronden, de zand-, leem- en zavelgronden en de kleigronden. De sleutel voor zand-, leem- en zavelgronden is opgenomen als Tabel B1.11. Een leesvoorbeeld:

Een sterk zure (pH-KCL < 4,5 = gradatie 3) zandgrond (Legendagroep 2), met een vrij lage voedingstoestand (gradatie 2.4 bij vegetatietype R1.1 met Bronsmos, Bochtige smelee en Struisgrassen), met een diepe grondwaterstand (ontwateringstoestand 1) en een vrij gering vochtleverend vermogen (gradatie 4), heeft geschiktheidsklasse 3.1.0.2 en valt daarmee onder de gronden met weinig mogelijkheden waarbij normale groei (klasse 2) verwacht wordt voor 1 à 2 gidsboomsoorten, waarvan 0 loofboomsoorten en 2 naaldboomsoorten (Grove den en Douglas; het 6^e en 8^e cijfer in de reeks boven de geschiktheidsklasse). Voor Corsicaanse en Oostenrijkse den (7^e cijfer; geen gidsboomsoort) is ook een normale groei verwacht; voor alle andere boomsoorten wordt een slechte groei verwacht.

Tabel B1.11

Groeiverwachting voor 14 boomsoorten en geschiktheidsklassen voor de zand-, leem- en zavelgronden als afhankelijke van de gradaties in ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, zuurgraad en voedingstoestand.

Ontwaterings- toestand	Vochtleverend vermogen	Gradaties in de zuurgraad											
		1			2				3				
		Gradaties in de voedingstoestand											
		2.1	2.2	2.3	2.1	2.2	2.3	2.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
1	1	11111-01000 1.3.3.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	11111-01000 1.3.3.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	11111-11111 1.1.3.4	11111-11111 1.1.3.4	22211-11111 1.1.2.4	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	2	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	11111-11111 1.1.3.4	22211-11111 1.1.2.4	33211-11111 1.1.2.4	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	3	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	22211-11111 1.1.2.4	33211-11111 1.1.2.4	33322-11222 2.1.0.2	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	4	33222-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33222-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33333-02000 3.2.0.0	33222-22222 2.2.2.4	33322-22222 2.2.2.4	33322-22222 2.2.2.4	33333-22333 3.1.0.2	33333-22333 3.1.0.1
	5	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0
2	1	11111-01000 1.3.3.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	11111-01000 1.3.3.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	11111-11111 1.1.3.4	11111-11111 1.1.3.4	22211-11111 1.1.2.4	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	2	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	11111-11111 1.1.3.4	22211-11111 1.1.2.4	33211-11111 1.1.2.4	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	3	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	22211-01000 2.1.2.0	33211-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	22211-11111 1.1.2.4	33211-11111 1.1.2.4	33322-11222 2.1.0.2	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	4	33222-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33222-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33333-02000 3.2.0.0	33222-22222 2.2.2.4	33322-22222 2.2.2.4	33322-22222 2.2.2.4	33333-22333 3.1.0.2	33333-22333 3.1.0.1
	5	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0
3	1	11111-01000 1.3.3.0	11111-01000 1.3.3.0	22212-01000 2.1.1.0	11111-01000 1.3.3.0	11111-01000 1.3.3.0	22212-01000 2.1.1.0	33322-01000 3.1.2.0	11111-11211 1.1.3.3	11111-11211 1.1.3.3	22212-11211 1.2.1.3	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	2	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33212-01000 3.1.1.0	11111-01000 1.3.3.0	22211-01000 2.1.2.0	33212-01000 3.1.1.0	33322-01000 3.1.2.0	11111-11211 1.1.3.3	22211-11211 1.2.2.3	33212-11211 1.2.1.3	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	3	22212-01000 2.1.1.0	33212-01000 3.1.1.0	33322-01000 3.1.2.0	22212-01000 2.1.1.0	33212-01000 3.1.1.0	33322-01000 3.1.2.0	33322-01000 3.1.2.0	22212-11211 1.2.1.3	33212-11211 1.2.1.3	33322-11222 2.1.0.1	33322-11222 2.1.0.1	33333-22333 3.1.0.1
	4	33222-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33222-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33322-02000 3.1.2.0	33333-02000 3.2.0.0	33222-22222 2.2.2.4	33322-22222 2.2.2.4	33322-22222 2.2.2.4	33333-22333 3.1.0.2	33333-22333 3.1.0.1
	5	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0
4	1	21222-02000 2.3.3.0	21222-02000 2.3.3.0	22223-02000 3.1.1.0	21222-02000 2.3.3.0	21222-02000 2.3.3.0	22223-02000 3.1.1.0	33333-02000 3.2.0.0	21222-22321 2.1.0.1	21222-22321 2.1.0.1	22223-22321 2.1.0.1	33333-22322 2.3.0.3	33333-22333 3.1.0.1
	2	21222-02000 2.3.3.0	22222-02000 2.3.3.0	33223-02000 3.1.1.0	21222-02000 2.3.3.0	22222-02000 2.3.3.0	33223-02000 3.1.1.0	33333-02000 3.2.0.0	21222-22321 2.1.0.1	22222-22321 2.1.0.1	33223-22321 2.1.0.1	33333-22322 2.3.0.3	33333-22333 3.1.0.1
	3	22223-02000 3.1.1.0	33223-02000 3.1.1.0	33323-02000 3.1.1.0	22223-02000 3.1.1.0	33223-02000 3.1.1.0	33323-02000 3.1.1.0	33333-02000 3.2.0.0	22223-22321 2.1.0.1	33223-22321 2.1.0.1	33323-22322 2.3.0.3	33333-22322 2.3.0.3	33333-22333 3.1.0.1
	4	33333-02000 3.2.0.0	33333-02000 3.2.0.0	33333-02000 3.2.0.0	33333-02000 3.2.0.0	33333-02000 3.2.0.0	33333-02000 3.2.0.0	33333-02000 3.2.0.0	33333-22322 2.3.0.3	33333-22322 2.3.0.3	33333-22322 2.3.0.3	33333-22333 3.1.0.1	33333-22333 3.2.0.0
5	1	32333-03000 3.2.0.0	32333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	32333-03000 3.2.0.0	32333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	32333-33332 3.1.0.1	32333-33332 3.1.0.1	33333-33332 3.1.0.1	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0
	2	32333-03000 3.2.0.0	32333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	32333-03000 3.2.0.0	32333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	32333-33332 3.1.0.1	32333-33332 3.1.0.1	33333-33332 3.1.0.1	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0
	3	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	33333-03000 3.2.0.0	32333-33332 3.1.0.1	32333-33332 3.1.0.1	33333-33332 3.1.0.1	33333-33333 3.2.0.0	33333-33333 3.2.0.0

Verklaring van de cijfers in 11111-02000

1.3.3.0

De bovenste reeks van tien cijfers geeft de groei van de boomsoorten aan. De volgorde is:

1e cijfer populier, wilg en es; 2e cijfer els;

3e cijfer esdoorn; 4e cijfer eik;

5e cijfer beuk;

6e cijfer grove den;

7e cijfer Corsic. en Oostenrijkse den; 8e cijfer douglasspar; 9e cijfer Japanse lariks; 10e cijfer fijnspar en sitkaspar

De cijfers betekenen:

1 = goede groei; 2 = normale groei; 3 = slechte groei; 0 = geen groeibeoordeling

De onderste vier cijfers vormen de code van de geschiktheidsklasse

B1.7 Groeiklassen en boniteit

Als maat voor de groei van bomen geldt de lengtegroei, die wordt uitgedrukt in de zogenaamde S-waarde (m). Deze waarde is de maximaal bereikbare opperhoogte bij onbepaald hoge leeftijd. De opperhoogte is de gemiddelde hoogte van de honderd hoogste bomen per ha. De S-waarde kan worden omgerekend in een gemiddelde aanwas op het tijdstip van culminatie van de bijgroei ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{jaar}$). Van elke boomsoort wordt de groei in drie klassen weergegeven:

1. goede groei
2. normale groei
3. slechte groei

Iedere boomsoort heeft zijn karakteristieke productievermogen. Hiermee is bij de indeling in groeiklassen rekening gehouden. De absolute groei in eenzelfde groeiklasse verschilt naar boomsoort. Zo geeft bijvoorbeeld een goed groeiende opstand van Douglas volgens Tabel B1.10 een aanwas van meer dan $13,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{j}$; daarentegen zal een goed groeiend grove-dennenbos gemiddeld $7\text{--}8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{j}$ produceren. Deze indeling is gebaseerd op opbrengsttabellen van De Dorschkamp uit de jaren zeventig (o.a. Bastide & Faber, 1972a,b). Mede op basis hiervan is een computermodel (OPTAB) opgesteld om de opbrengsttabellen te kunnen berekenen. Modelparameters worden regelmatig bijgesteld op grond van nieuwe onderzoeksgegevens. In 1996 is een nieuwe set opbrengsttabellen afgeleid (Jansen *et al.*, 1996). Deze wijken af van de tabellen die gehanteerd zijn om de groeiklassen in Tabel B1.10 vast te stellen.

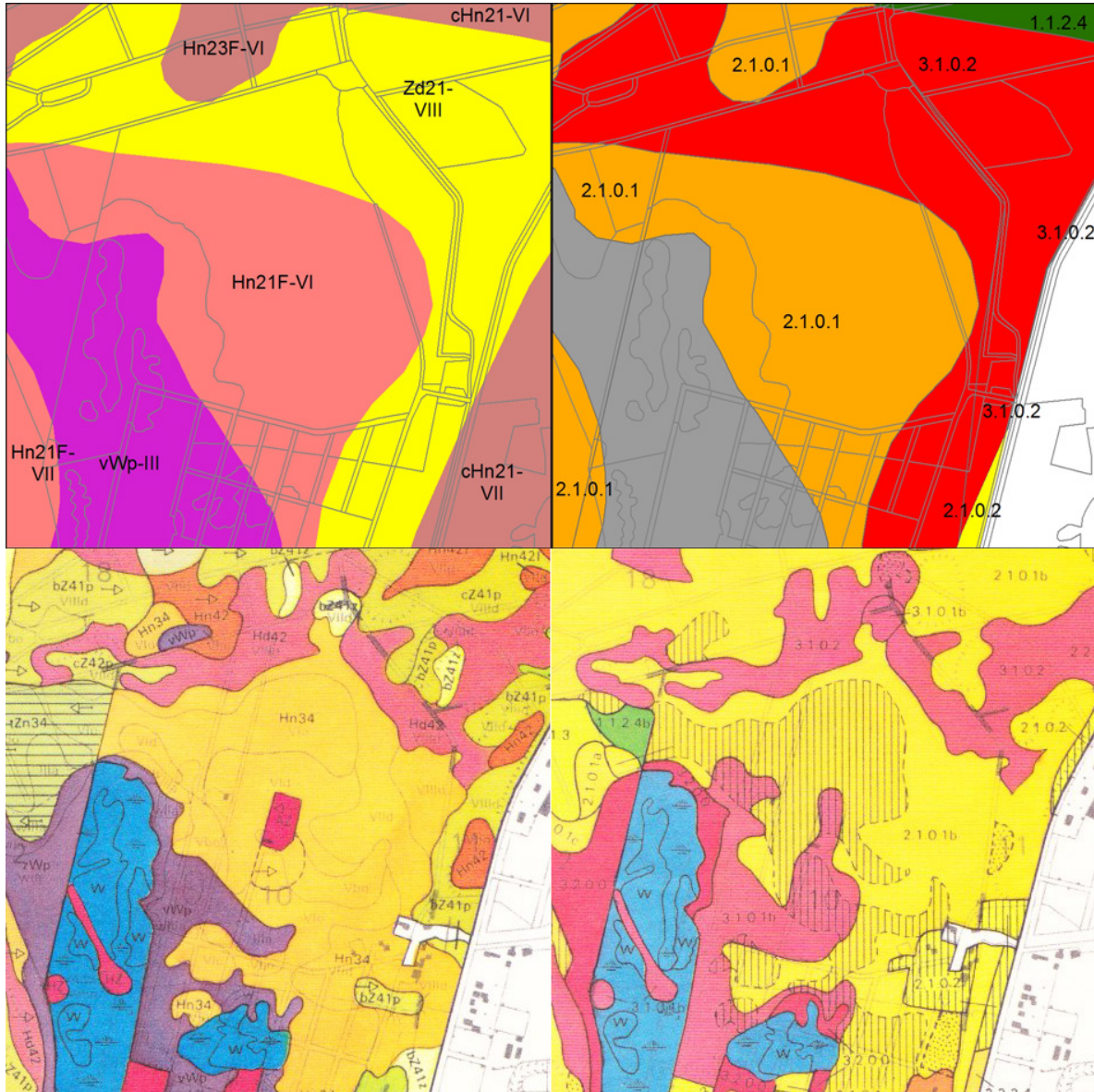
Voor toepassing van de beoordelingsmethode voor het vaststellen van bosschade bij waterwinningen of vernatting zijn groeigrafieken afgeleid, waarbij per bodemtype en gradatie voor voedingstoestand en zuurgraad de boniteit voorspeld wordt als afhankelijke van de GVG (Vroon, 2000, Bakker & Vroon, 1999). Hiervoor zijn de grenzen voor de groeiklassen uit Tabel B1.10 gehanteerd om aan te geven wat de groeiverwachting is bij een gegeven GVG. Deze groeigrafieken zijn bij diverse karteringen getoetst aan reële aanwasgegevens en blijken goed te voldoen voor het vaststellen van de groeischade (Vroon, 1997, Nierop, 2010). Hierbij is echter steeds de hoogtegroei gemeten en de bijgroei was daarbij een afgeleide.

B1.8 Toepassing in actuele situaties

De in deze bijlage beschreven methode om op basis van de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor bosbouw de groeiklasse van boomsoorten in te schatten bij combinaties van groeiplaatstype en grondwatertrap, is ontwikkeld en veelvuldig toegepast voor de beoordeling van concrete bosopstanden. Bij de beoordeling van de actuele situatie in een concrete bosopstand is de informatie van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50,000 ongeschikt. Vanwege de kaartschaal komt de bodemkundige en hydrologische variatie binnen bosopstanden onvoldoende tot uiting. Daarnaast is de legenda onvoldoende gedetailleerd om verschillen in vochtleverend vermogen in relatie tot textuur en profielopbouw tot uiting te brengen. Dat geldt voor alle bodemtypen, maar in het bijzonder voor de stuifzandgronden, waarbij uit de code Zd21 (Duinvaaggronden in leemarm of zwak lemig fijn zand) niet kan worden afgeleid hoe dik het stuifzandpakket is en of hierin bijvoorbeeld een overstoven profiel voorkomt. Vaak komen hiertussen ook uitgestorven laagten voor waarbij bewortelingsmogelijkheden en vochthoudend vermogen van de bodem veel lager is dan bij stuifzandgronden, maar kunnen deze vanwege de kaartschaal niet worden onderscheiden. Bij een aantal kaartbladen is dit ondervangen door de gronden als een associatie van stuifzandgronden (AS) aan te geven, maar ook daarbij ontbreekt de onderscheidende informatie. Deze variaties in bodemkenmerken zijn van zeer grote invloed op het vochtleverend vermogen van de bodem en daarmee voor de groeiverwachtingen van de verschillende boomsoorten.

Voor de boswachterijen die in Figuur B1.1 zijn weergegeven, is een gedetailleerde bodemkaart en bodemgeschiktheidskaart voor bosbouw beschikbaar, meestal op schaal 1 : 10 000, bij een aantal oudere karteringen op schaal 1 : 25 000. Met deze kaarten kan meer in detail bepaald worden welke groeiplaatstypen en grondwatertrappen in de opstand voorkomen. Op basis van de bodemgeschiktheidskaart kan ook afgeleid worden wat de groeiverwachting is van de betreffende boomsoort. Deze kan zo nodig vergeleken worden met actuele aanwasgegevens om de juiste boniteitsklasse te selecteren voor het beoordelen van het effect van de verschillende beheervarianten. Als voorbeeld is in Figuur B1.5 een vergelijking gemaakt van de detailkartering van Boswachterij Mastbos (Van Delft &

Leeters, 1989) met de Bodemkaart van Nederland en de op basis van de groeiplaatstypen afgeleide geschiktheidsbeoordeling (zie B1.6). Wanneer voor een concreet perceel (Vak/Afdeling) de beoordeling plaatsvindt op basis van de Bodemkaart van Nederland, zal in veel gevallen het verkeerde groeiplaatstype gehanteerd worden en in gebieden waar nattere gronden voorkomen, ook de verkeerde grondwatertrap. Het verdient daarom altijd aanbeveling om voor deze beoordeling de detailkaarten te gebruiken of de actuele bodemkundige en hydrologische situatie in het veld op te nemen. Ook een toets van de actuele vegetatie is daarbij zinvol, zeker als bij de vroegere karteringen een 'arm' vegetatietype was aangegeven.



Figuur B1.5 Vergelijking van de Bodemkaart van Nederland (linksboven) met een fragment van de detailkartering van Boswachterij Mastbos (linksonder), beide weergegeven op schaal 1 : 10 000 en de daarbij behorende bodemgeschiktheidsbeoordeling voor bosbouw; rechtsboven op basis van de Bodemkaart van Nederland, rechtsonder op basis van de detailkartering.

Vooralsnog zijn de kaarten van de boswachterijkarteringen alleen analoog beschikbaar. Door ze te 'georefereren' en/of te digitaliseren, kan de informatie ook in GIS-systemen ontsloten worden.

Bijlage 2 Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de groeiplaatstypen

Om in te kunnen schatten welke boniteitsklassen verwacht mogen worden bij de onderscheiden groeiplaatstypen, is de in Bijlage 1 beschreven Stiboka-methode voor bodemgeschiktheidsbeoordeling voor bosbouw toegepast op de groeiplaatstypen. Deze beoordeling is steeds uitgevoerd voor de mediane waarden van de variabelen, maar ook voor de waarden bij P10 en P90 om de variatie binnen het groeiplaatstype in beeld te brengen. De variatie binnen de groeiplaatstypen geeft echter, op een enkele uitzondering na, geen afwijkende groeiverwachting bij de P10- en P90-waarden ten opzichte van de mediaan. Daarom wordt hier alleen de beoordeling voor de mediane waarden gerapporteerd.

B2.1 Ontwateringstoestand

De ontwateringstoestand hangt direct af van de GHG en is daarom afgeleid voor alle onderscheiden grondwatertrappen (Tabel B1.1). In de berekeningen zijn daarom alle gradaties (1 t/m 5) beoordeeld. In de praktijk zullen echter niet alle grondwatertrappen bij alle groeiplaatstypen voorkomen. In Tabel B2.1 is het voorkomen van grondwatertrappen binnen de groeiplaatstypen aangegeven voor zover deze voorkomen binnen de boswachterijen. Deze informatie is afgeleid van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1:50 000). De boswachterijen in Figuur B1.1 zijn weliswaar gekarteerd op schaal 1:10 000 of zelfs 1:5 000, maar die kaarten zijn niet digitaal beschikbaar. Bij GPL02 (Droge lössleemgronden; alle in Zuid-Limburg) is op de bodemkaart geen grondwatertrap aangegeven, maar er kan hierbij worden uitgegaan van grondwatertrap VIII. Voor de meeste groeiplaatstypen geldt dat vrijwel alle vlakken op grondwatertrap VII en VIII liggen. Bij GPL07, GPL08, GPL10 en GPL11 heeft een substantieel deel ook nattere grondwatertrappen. Een deel van de gronden in de boswachterijen heeft bodemtypen die niet te herleiden zijn tot een van deze groeiplaatstypen (veengronden, kalkrijke zandgronden, kleigronden).

Tabel B2.1

Het voorkomen (ha) van grondwatertrappen binnen de groeiplaatstypen voor zover deze voorkomen in de boswachterijen. Grondwatertrappen met een toevoeging s (sVb, sVI en sVII) worden onderscheiden bij profielen waar stagnatie van grondwater optreedt, bijvoorbeeld op keileem (GPL04 en GPL08).

Grondwatertrap	GPL01	GPL02	GPL03	GPL04	GPL05	GPL06	GPL07	GPL08	GPL09	GPL10	GPL11	Totaal
I					8							8
II							74				7	81
IIb												0
III					14		356	8		50	142	569
IIIa												0
IIIb							25			0		25
IV							43					43
V				7	48		1209	436		0	143	1843
Vb					20		767	1544		59	90	2480
sVb				92								92
VI					216		8184	1451		1	343	10195
sVI							17	412			1	431
VII	3282		2018		4809	3760	5215	277	30	3	893	20288
sVII	7						2	720			2	731
VIII	5093		1897		2479	3313	1875	202	151	0	408	15419
Totaal	8382	0	3915	99	7595	7073	17766	5050	181	113	2030	52204

B2.2 Vochtleverend vermogen

Voor het bepalen van het vochtleverend vermogen is een complex van bodemeigenschappen beoordeeld (zie Tabel B2.2).

Tabel B2.2

Bodemkenmerken voor de beoordeling van het vochtleverend vermogen. In het tweede deel van de tabel worden de gradaties voor het vochtleverend vermogen per groeiplaatstype en grondwatertrap gegeven. De met groen gemarkeerde combinaties zijn in de boswachterijen aangetroffen en zijn daarom het meest relevant voor de beoordeling.

		GPL01	GPL02	GPL03	GPL04	GPL05	GPL06	GPL07	GPL08	GPL09	GPL10	GPL11
Leem	%	15	81	10	44	9	9	14	16	10	43	14
Zk	cm	160	130	54	40	85	85	103	82	85	120	120
h_Voorjaar	cm	-50	-50	-100	-100	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Beschikbaar vocht norm	fractie	0.15	0.28	0.05	0.19	0.13	0.15	0.15	0.15	0.13	0.20	0.17
Beschikbaar vocht gecorrigeerd	fractie	0.15	0.28	0.03	0.23	0.11	0.13	0.15	0.15	0.13	0.24	0.17
Hoeveelheid hangwater	mm	108	202	22	166	79	94	108	108	94	173	122
VL_HW	gradatie	3	1	5	2	4	4	3	3	4	2	3
Vochtleverend vermogen												
Grondwatertrap	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	IIa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	IIb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	IIc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	IIIa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	IIIb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	IV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Va	1	1	4	2	1	1	1	1	1	1	1
	Vb	1	1	4	2	4	4	1	3	4	1	1
	VI	1	1	4	2	4	4	3	3	4	1	1
	VII	1	1	5	2	4	4	3	3	4	2	3
	VIII	3	1	5	2	4	4	3	3	4	2	3

Bewortelingsdiepte

Hoewel deze vrij sterk kan variëren tussen bodemtypen en opstanden is bij de schematisatie uitgegaan van een vaste bewortelingsdiepte van 90 cm –mv. Voor het vaststellen van het vochtleverend vermogen is uitgegaan van de ‘effectieve bewortelingsdiepte’, die overeenkomt met 80% van de bewortelingsdiepte (72 cm).

Vochthoudend vermogen van de wortelzone

Om het vochthoudend vermogen van de wortelzone (bij hangwaterprofielen) te bepalen, is uit de dikte van de wortelzone en de fractie beschikbaar vocht daarin berekend hoeveel vocht beschikbaar is in een hangwaterprofiel. Afhankelijk van het type moedermateriaal en de drukhoogte in het voorjaar, is de fractie beschikbaar vocht bepaald volgens de norm in Tabel B1.4 (Tabel B2.1 regel 5). Vervolgens is deze in regel 6 gecorrigeerd voor het leem- en organische stofgehalte. Door deze fractie te vermenigvuldigen met de dikte van de wortelzone, is de hoeveelheid beschikbaar hangwater berekend (regel 7) en de gradatie (VL_HW, regel 8) voor het vochtleverend vermogen wanneer het een hangwaterprofiel betreft.

Kritieke z-afstand

Op basis van normen voor verschillende soorten moedermateriaal is in regel 3 in Tabel B2.2 de kritieke z-afstand aangegeven. Omdat het hier vooral zand- en leemgronden betreft, hangt de kritieke z-afstand voornamelijk af van het leemgehalte en bedraagt 40 tot 160 cm.

GVG en LG3

De grondwaterstand aan het begin (GVG) en eind van het seizoen in een 10% droog jaar (LG3) waarmee gerekend is, staan in Tabel B2.3. Voor GHG en GLG is per grondwatertrap een aanname gedaan. Vervolgens is de GVG berekend met de formule voor stroomgebieden (§ B1.3). Voor het bepalen van LG3 is uitgegaan van een correctie op de GLG van 10 cm voor Gt I en II, 20 cm voor Gt III en IV en 40 cm voor drogere Gt's.

Tabel B2.3

Karakteristieke waarden voor het grondwaterstandsverloop, op basis van de klassegrenzen voor GHG en GLG van de grondwatertrappen.

Grondwatertrap	GHG	GLG	GVG	LG3
I	5	45	16	55
IIa	10	60	23	70
IIb	30	70	44	80
IIc	45	70	58	80
IIIa	15	100	34	120
IIIb	35	110	54	130
IV	50	100	68	120
Va	20	140	44	180
Vb	35	160	62	200
VI	60	180	89	220
VII	100	200	131	240
VIII	160	300	204	340

Beoordeling

In het tweede deel van Tabel B2.2 is de uiteindelijke beoordeling van het vochtleverend vermogen gegeven. Vanwege de diepe beworteling (90 cm, waarvan 72 cm als effectief wordt beschouwd) en de vaak vrij grote kritieke z-afstand, wordt bij de meeste groeiplaatstypen de kritieke z-afstand pas bij diepe grondwaterstanden overschreden. Hangwaterprofielen komen vrijwel alleen voor bij grondwatertrap (Gt) VIII. Alleen bij GPL03 en GPL04 wordt ook bij Gt VII een hangwaterprofiel gevonden. Groeiplaatstype GPL01 heeft bij Gt VIII een tijdelijk grondwaterprofiel en in alle andere gevallen een volledig grondwaterprofiel, waarbij gedurende het gehele jaar voldoende capillaire nalevering gegarandeerd is. Dat geldt ook voor GPL02 die bij Gt VIII nog een hangwaterprofiel heeft, maar in alle andere gevallen een grondwaterprofiel. Bij de overige groeiplaatstypen verschilt de overgang van grondwaterprofiel naar tijdelijk grondwaterprofiel enigszins, maar vrijwel overal (met uitzondering van GPL03 en GPL04) geven alle grondwatertrappen t/m Va een volledig grondwaterprofiel. Daarnaast is in een aantal gevallen de hoeveelheid beschikbaar hangwater ook behoorlijk hoog.

Dit alles betekent dat bij alle groeiplaatstypen het vochtleverend vermogen zeer groot is (gradatie 1) voor de grondwatertrappen I t/m Va. Bij drogere grondwatertrappen worden dan gradaties 3 (matig) en 4 (vrij gering) gevonden. GPL03 met grondwatertrap VII en VIII heeft het geringste vochtleverend vermogen (gradatie 5 = zeer gering). In Tabel B2.2 is het voorkomen van de grondwatertrappen bij de groeiplaatstypen in de boswachterijen aangegeven met een groene arcering. Daaruit blijkt dat bij de reële grondwatertrappen die bij de groeiplaatstypen voor kunnen komen (binnen de boswachterijen) het vochtleverend vermogen vaak minder groot is, omdat de nattere grondwatertrappen veel minder voorkomen.

B2.3 Voedingstoestand

Voor de voedingstoestand is uitgegaan van een van de meest algemene vegetatietypen die op deze groeiplaatstypen te verwachten zijn. Dat zijn – in de indeling van Bannink *et al.* (1973) – de typen R1.1, R1.2 en R2 in de lichte bossen en III en IV in de donkere bossen (zie Tabel B1.6 en B1.7). In de lichte bossen worden deze vooral gekenmerkt door Bochtige smeie, struisgrassen, Wilde lijsterbes, stekelvarens, bramen, Bronsmos en Groot laddermos; in de donkere bossen door Kronkelsteeltje,

Wilde lijsterbes, Wilgenroosje, Stekelvaren en Liggend walstro. Op leemgronden en mineralogische rijkere gronden op een stuwwal wordt bij deze vegetatietypen gradatie 3 (matig hoog) toegekend, bij de armere zandgronden gradatie 4 (vrij laag). Voor zandgronden met een oud bouwlanddek (GPL11) zijn wij ervan uitgegaan dat de vroegere bemesting nog herkenbaar zal zijn in het vegetatietype, waardoor meer soorten als Gladde witbol, Valse salie en Braam worden aangetroffen (vegetatietype R3). Daarom is hier met gradatie 3 voor de voedingstoestand gerekend. Voedingstoestand 5 komt in productiebossen weinig voor (Vroon, 2000).

B2.4 Zuurgraad

Hiervoor is de pH-KCl van de bovengrond beoordeeld op basis van de dataset uit Humbase (zie § 2.2.2.1). Zuurgraad klasse 2 wordt alleen gevonden bij groeiplaatstype GPL10 (oude rivierkleigronden) met pH-KCl = 4.7. Bij alle andere groeiplaatstypen is de pH-KCl < 4.5 (3.0 – 4.0) waarbij gradatie 3 voor de zuurgraad wordt toegekend.

B2.5 Groeiverwachting

De resultaten van de geschiktheidsbeoordeling zijn opgenomen in Tabel B2.4. Voor 10 (groepen van) boomsoorten wordt bij elke combinatie van groeiplaatstype en grondwatertrap een groeiverwachting gegeven in drie klassen: goede, normale en slechte groei. In § B2.6 wordt ingegaan op de mogelijke afwijkingen tussen deze waarden en de gehanteerde groeitabellen.

In Tabel B2.5 is samengevat wat per groeiverwachtingsklasse de groeiverwachting is voor de boomsoorten die in dit onderzoek worden geëvalueerd. In Tabel B1.10 zijn de aanwascijfers bij de groeiklassen voor gidsboomsoorten gegeven. Hieruit kunnen referentiewaarden afgeleid worden voor de groeicurven bij verschillende groeiverwachtingen.

Tabel B2.4

Groeiverwachting voor 10 boomsoorten bij combinaties van groeiplaatstypen en grondwatertrappen. Voor de verklaring van de groeiverwachtingsklassen: zie Tabel B2.5. Binnen de zwarte kaders zijn de groeiverwachtingen aangegeven voor de grondwatertrappen die binnen de boswachterijen voorkomen in de beoordeelde groeiplaatstypen.

Grondwatertrap	GPL01	GPL02	GPL03	GPL04	GPL05	GPL06	GPL07	GPL08	GPL09	GPL10	GPL11
I	33333-33332	33333-33332	33333-33333	33333-33333	33333-33333	33333-33333	33333-33333	33333-33333	33333-33332	33333-03000	33333-33332
IIa	22223-22321	22223-22321	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	22223-22321	22223-02000	22223-22321
IIb	22212-11211	22212-11211	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	22212-11211	22212-01000	22212-11211
IIc	22211-11111	22211-11111	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	22211-11111	22211-01000	22211-11111
IIIa	22223-22321	22223-22321	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	22223-22321	22223-02000	22223-22321
IIIb	22212-11211	22212-11211	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	22212-11211	22212-01000	22212-11211
IV	22211-11111	22211-11111	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	33322-11222	22211-11111	22211-01000	22211-11111
Va	22223-22321	22223-22321	33333-22333	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	33333-22322	22223-22321	22223-02000	22223-22321
Vb	22212-11211	22212-11211	33333-22233	33322-11222	33333-22233	33333-22233	33322-11222	33322-11222	33322-22222	22212-01000	22212-11211
VI	22211-11111	22211-11111	33333-22233	33322-11222	33333-22233	33333-22233	33322-11222	33322-11222	33222-11122	22211-01000	22211-11111
VII	22211-11111	22211-11111	33333-33333	33322-11222	33333-22233	33333-22233	33322-11222	33322-11222	33322-22222	33211-01000	33222-11122
VIII	33222-11122	22211-11111	33333-33333	33322-11222	33333-22233	33333-22233	33322-11222	33322-11222	33322-22222	33211-01000	33222-11122

Uitleg groeiverwachtingsklassen: De cijferreeksen geven de groeiverwachting van boomsoorten aan, voor de streep de loofboomsoorten, na de streep naaldboomsoorten. De soorten in dit onderzoek zijn **vet** weergegeven.

1^e cijfer Populier, Wilg, **Es**

2^e cijfer Els

3^e cijfer Esdoorn

4^e cijfer **Eik**

5^e cijfer **Beuk**

De cijfers betekenen:

1 = goede groei; 2 = normale groei; 3 = slechte groei; 0 is geen groeibeoordeling

6^e cijfer **Grove den**

7^e cijfer **Corsicaanse en Oostenrijkse den**

8^e cijfer **Douglasp**

9^e cijfer **Japanse lariks**

10^e cijfer Fijnspar en Sitkaspar

Tabel B2.5

Vertaling van de groeiverwachtingsklasse naar groeiverwachting van zes individuele boomsoorten. De bij de klassen horende aanwascijfers per boomsoort staan in Tabel B1.10.

Groeiverwachting	Beoordeling	Eik	Beuk	Es	Grove den	Zwarte den	Douglas	Lariks
22211-11111	1.1.2.4	1	1	2	1	1	1	1
22212-11211	1.2.1.3	1	2	2	1	1	2	1
22223-22321	2.1.0.1	2	3	2	2	2	3	2
33322-11222	2.1.0.1	2	2	3	1	1	2	2
33222-11122	2.1.0.2	2	2	3	1	1	1	2
22212-01000	2.1.1.0	1	2	2	0	1	0	0
22211-01000	2.1.2.0	1	1	2	0	1	0	0
33211-01000	2.1.2.0	1	1	3	0	1	0	0
33322-22222	2.2.2.4	2	2	3	2	2	2	2
33333-22322	2.3.0.3	3	3	3	2	2	3	2
33333-22333	3.1.0.1	3	3	3	2	2	3	3
33333-33332	3.1.0.1	3	3	3	3	3	3	3
33333-22233	3.1.0.2	3	3	3	2	2	2	3
22223-02000	3.1.2.0	2	3	2	0	2	0	0
33333-33333	3.2.0.0	3	3	3	3	3	3	3
33333-03000	3.2.0.0	3	3	3	0	3	0	0

In Tabel B2.4 zijn alle combinaties van grondwatertrappen met groeiplaatstypen beoordeeld en zijn de combinaties die in de boswachterijen voorkomen gemarkeerd. Op basis daarvan is in Tabel B2.6 per boomsoort en groeiplaatstype aangegeven welke groeiklassen relevant zijn. Hiermee kan bij de presentatie van de resultaten van de balansberekeningen per boomsoort en groeiplaatstype aangegeven worden welke boniteitsklassen reëel zijn.

Tabel B2.6

Het voorkomen van groeiverwachtingsklassen per boomsoort binnen de groeiplaatstypen in de boswachterijen. 1 = groeiverwachting binnen deze klasse komt voor in het groeiplaatstype, 0 = groeiverwachting binnen deze klasse komt **niet** voor in het groeiplaatstype.

Boomsoort	Groeiklasse	GPL01	GPL02	GPL03	GPL04	GPL05	GPL06	GPL07	GPL08	GPL09	GPL10	GPL11
Beuk	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	2	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Douglas	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
	3	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
Eik	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	2	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Es	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grove den	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Lariks	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	2	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0

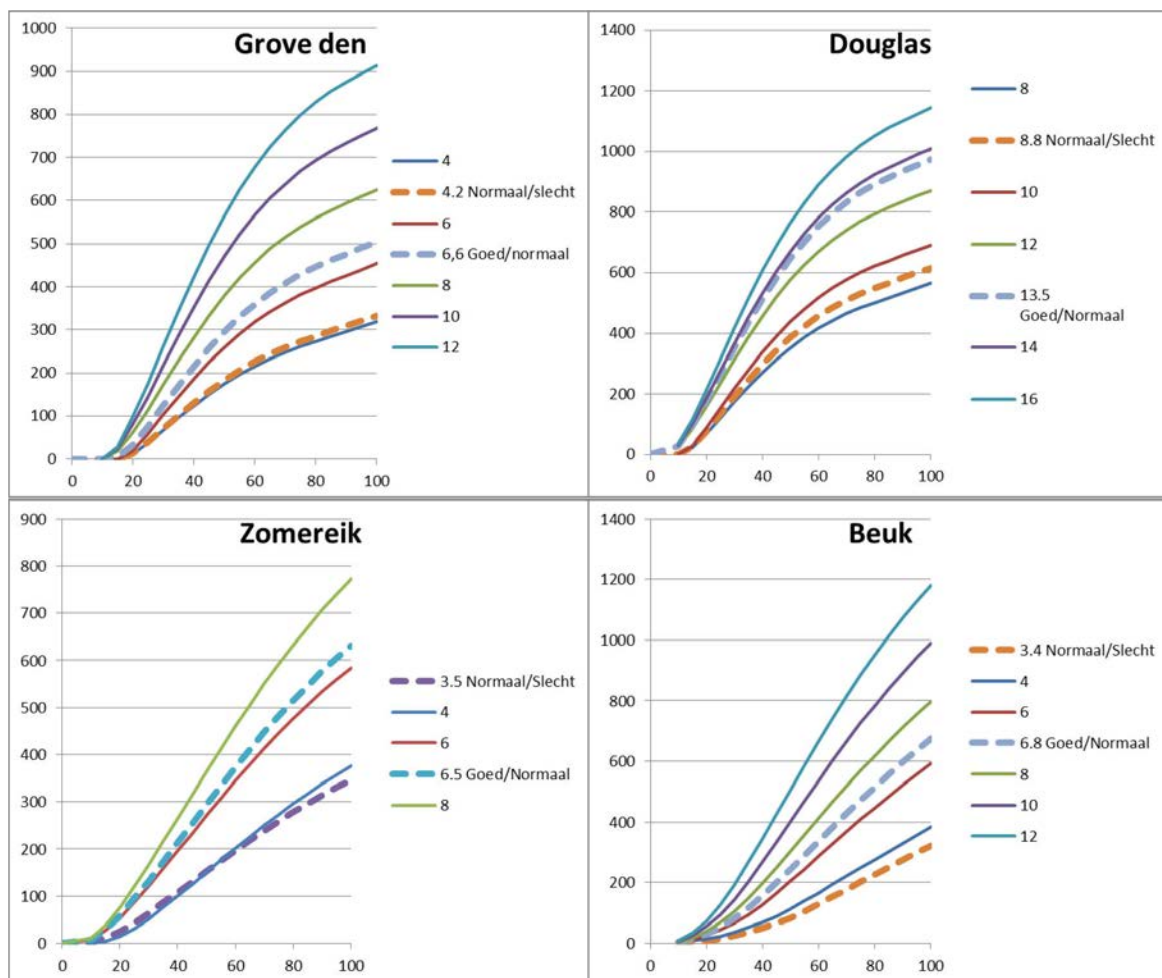
B2.6 Discussie: groeiverwachting nader beschouwd

Naar aanleiding van de vergelijking van bestaande groeitabellen voor diverse boomsoorten (OPTAB; Jansen *et al.*, 1996) met resultaten van de Houtoogststatistiek en Prognose Oogstbaar Hout (HOSP) bleken er afwijkingen voor te komen tussen de werkelijke bijgroei en de 'normale' bijgroei in de opbrengsttabellen (Schoonderwoerd & Daamen, 1995). Hiervoor worden twee mogelijke verklaringen gegeven:

1. De opbrengsttabellen zijn gebaseerd op onderzoek in proefvelden die zowel qua standplaats-eigenschappen als aanleg en beheer niet representatief zijn voor de Nederlandse bossen.
2. Voor de opbrengsttabellen is een asymptotisch model gebruikt om de aanwas te voorspellen uit de toename van de opperhoogte. Voor jonge(re) opstanden geeft dat een overschatting van de aanwas, voor oudere opstanden een onderschatting, omdat daar de boomhoogte niet of minder toeneemt, maar er nog wel sprake is van diktegroei.

De afwijking bestaat vanwege het tweede punt vooral uit de groei op latere leeftijd, waar de grondvlak- en dus ook de volume-bijgroei wordt onderschat. Dat is echter voor het bepalen van de groeiklasse van minder belang, omdat de maximale gemiddelde bijgroei (culminatiewaarde) veelal rond een leeftijd van 50 jaar wordt bereikt.

Vanwege de beschreven veranderingen in de groeitabellen is niet helemaal duidelijk hoe de klassen voor de groeiverwachtingen toegepast moeten worden op de huidige tabellen. In Figuur B2.1 zijn de grenzen voor de groeiklassen zoals gebruikt in de boswachterijkarteringingen (Bijlage 1, Tabel B1.10) uitgezet tegen de groeicurves uit de huidige opbrengsttabellen (Jansen *et al.*, 1996).



Figuur B2.1 Groeigrafieken voor vier boomsoorten (huidige tabellen) met daarin de grenzen van de groeiklassen gebruikt in de boswachterijkarteringingen. De totale bijgroei (m^3/ha) is uitgezet tegen de leeftijd.

Het lijkt erop dat – in elk geval voor grove den en beuk – de groeiverwachtingsklassen een vrij lage aanwas voorspellen in vergelijking met de spreiding in boniteitsklassen voor de huidige opbrengst-tabellen. Voor alle boomsoorten geldt dat de grens tussen normale en slechte groei vrijwel samenvalt met, of zelfs lager is dan de laagste boniteitsklasse. De S-waarden zijn destijds regelmatig geverifieerd, maar het is de vraag of de relatie S-waarde (maximale hoogte in m) – groeiklasse (maximale bijgroei in m³/ha/jr) nog wel hetzelfde is gebleven.

Daarom zijn de grenzen van de classificatie van 'normale' groei, die gebaseerd is op hoogtegroeï (S-curve) in deze studie gekoppeld aan de opbrengsttabellen van Jansen *et al.* (1996, Tabel 3: groeiklasse en bijbehorende S-waarde). Ofwel, aan gegeven S-waarden volgens Van Delft & Leeters (1989) zijn de volumegroeï-klassen gekoppeld volgens Jansen *et al.* (1996). Dat levert een aangepaste versie van grenzen van groeiklassen bij een normale groei (Tabel B2.7). Daarbij moet bedacht worden dat destijds zowel de groeiklassen als de S-waarden zijn bepaald op basis van de begin jaren zeventig beschikbare groeitabellen en een bepaalde leeftijd met hoogte. De aangepaste tabellen van OPTAB hebben andere hoogtegroeïcurven en S-waarden op basis van recentere data, maar ook op basis van buitenlandse groeigegevens.

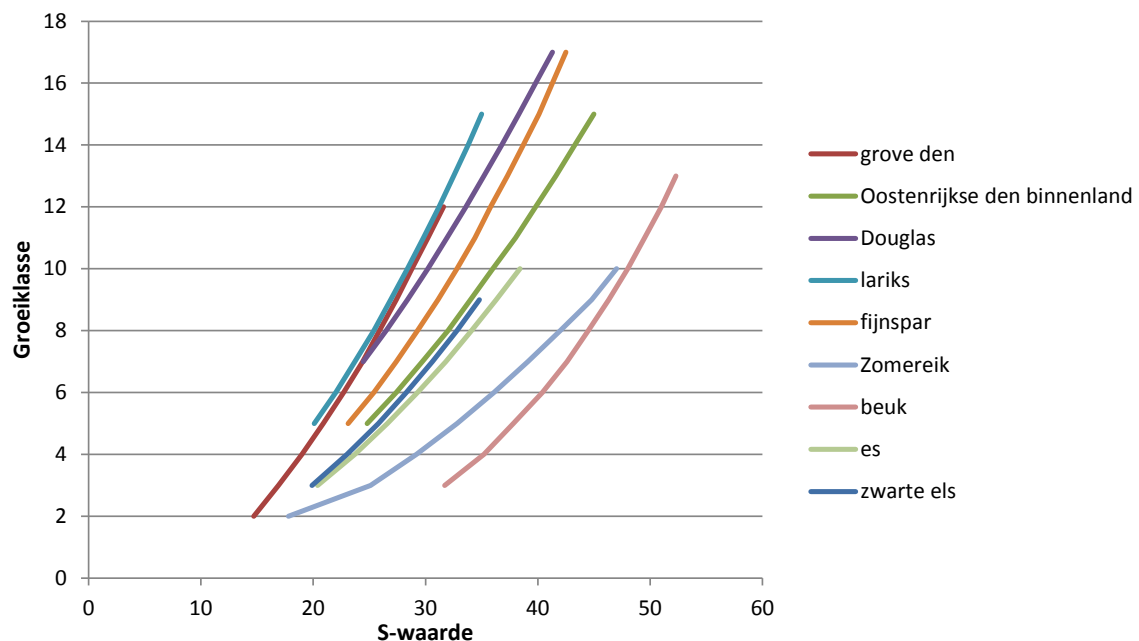
Wat opvalt in Tabel B2.7 is dat voor enkele boomsoorten (met name beuk, eik, es, els) de bijgroei bij de aangegeven S-waarden erg laag is. Het is mogelijk dat in de relatie tussen hoogtegroeï en bijgroeiklasse de hoogtegroeï overschat is. In Figuur B2.2 is te zien dat er bij beuk en eik relatief hoge S-waarden gelden voor een gegeven groeiklasse, wat omgekeerd leidt tot een lage groeiklasse bij een gegeven S-waarde.

Het verloop van de boomhoogte volgens OPTAB is, evenals die volgens Schütz & Van Tol (1990) en gegevens van de Zesde Nederlandse Bosinventarisatie (NBI6; Schelhaas *et al.*, 2014), weergegeven in Figuur B2.3 en Figuur B2.4. Uit deze figuren blijkt dat de hoogtegroeï volgens OPTAB bij beuk veel langer aanhoudt dan volgens de gegevens van de NBI6 en Schütz & Van Tol. Bij de gegeven S-waarden wordt zodoende een lage groeiklasse gevonden. Bij eik is dit verschil aanzienlijk kleiner. Daarom is op basis van het relatieve groeiverloop volgens Schütz & Van Tol (1990) de S-waarde voor de meest opvallende uitschieters (beuk, es en els) herberekend en is daarbij de groeiklasse bepaald. Dit leidt tot aanzienlijk hogere groeiklassen (onderste deel Tabel B2.7). Het koppelen van bijgroei aan S-waarde blijft echter lastig en het is de vraag of de bepaling van de groeiklassen bij de S-waarden met OPTAB een betere indicatie van de groeiklassen oplevert.

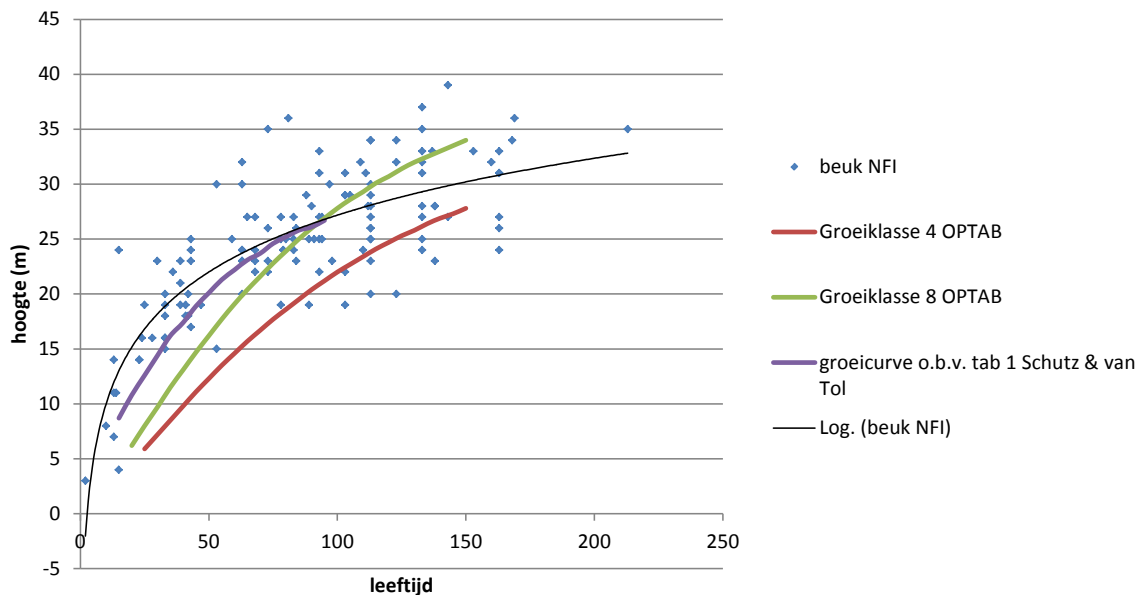
Tabel B2.7

Gemiddelde aanwas bij goede, normale en slechte groei van gidsboomsoorten zoals gehanteerd bij de boswachterijkartering in de jaren zeventig en tachtig (o.a. Van Delft & Leeters, 1989).

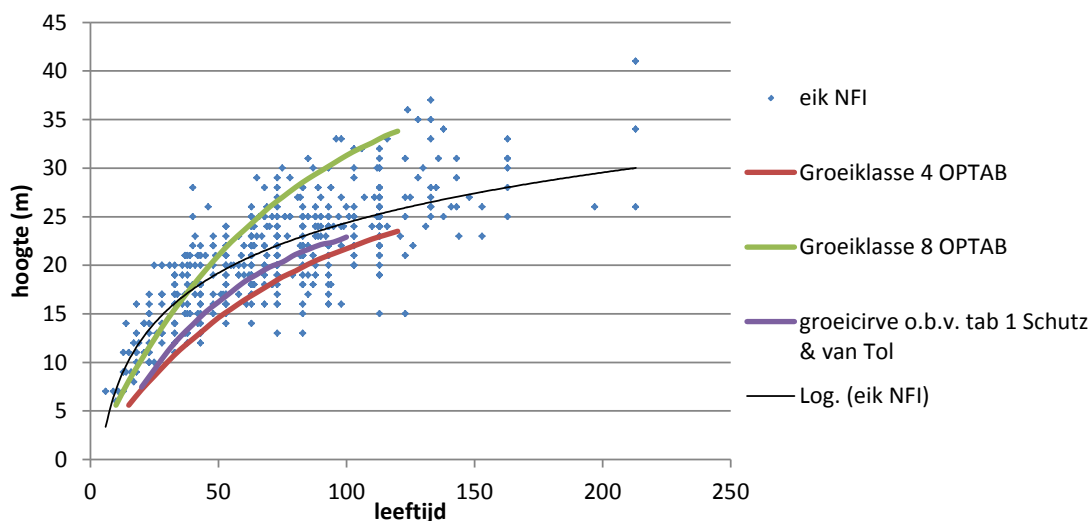
Boomsoort	Indeling naar groeiklasse			Cumulatie-waarde van de gemiddelde bijgroei			
	S-waarde						
	1	2	3	1	2	3	
Populier	>= 40	32 - 40	<= 32	>= 19,4	14,2 - 19,4	<= 14,2	
Wilg	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Zwarte els	>= 22	16 - 22	<= 16	>= 3,7	2,0 - 3,7	<= 2,0	
Es en esdoorn	>= 25	20 - 25	<= 20	>= 4,4	2,9 - 4,4	<= 2,9	
Zomereik	>= 30	22 - 30	<= 22	>= 4,2	2,5 - 4,2	<= 2,5	
Beuk	>= 30	22 - 30	<= 22	>= 2,7	1,9 - 2,7	<= 1,9	
Am.eik	>= 28	23 - 28	<= 23	>= 6,5	4,3 - 6,5	<= 4,3	
Grove den	>= 27	21 - 27	<= 21	>= 8,7	5,1 - 8,7	<= 5,1	
Douglas	>= 37	29 - 37	<= 29	>= 14,1	9,3 - 14,1	<= 9,3	
Japanse lariks	>= 26	20 - 26	<= 20	>= 8,4	4,9 - 8,4	<= 4,9	
Fijnspar en sitkaspar	>= 36	28 - 36	<= 28	>= 12,1	7,3 - 12,1	<= 7,3	
Corsicaanse den (binnenland)	>= 35	26 - 35	<= 26	>= 14,9	8,5 - 14,9	<= 8,5	
Corsicaanse den (kust)	>= 26	17 - 26	<= 17	>= 7,3	3,0 - 7,3	<= 3,0	
Oostenrijkse den (binnenland)	>= 26	20 - 26	<= 20	>= 5,4	3,3 - 5,4	<= 3,3	
Oostenrijkse den (kust)	>= 21	16 - 21	<= 16	>= 4,3	2,5 - 4,3	<= 2,5	
Es en esdoorn (Schütz & Van Tol)	>= 25	20-25	<= 20	>= 6,3	4,2 - 6,3	<= 4,2	
Zwarte els (Schütz & Van Tol)	>= 22	16-22	<= 16	>= 6,5	4,0 - 6,5	<= 4,0	
Zomereik (Schütz & Van Tol)	>= 30	22-30	<= 22	>= 6,4	3,5 - 6,4	<= 3,5	
Beuk (Schütz & Van Tol)	>= 30	22-30	<= 22	>= 6,1	3,7 - 6,1	<= 3,7	
Grove den (Schütz & Van Tol)	>= 27	21-27	<= 21	>= 7,4	4,6 - 7,4	<= 4,6	



Figuur B2.2 Verband tussen groeiklasse en S-waarde volgens OPTAB (Jansen et al., 1996) voor de belangrijkste boomsoorten.

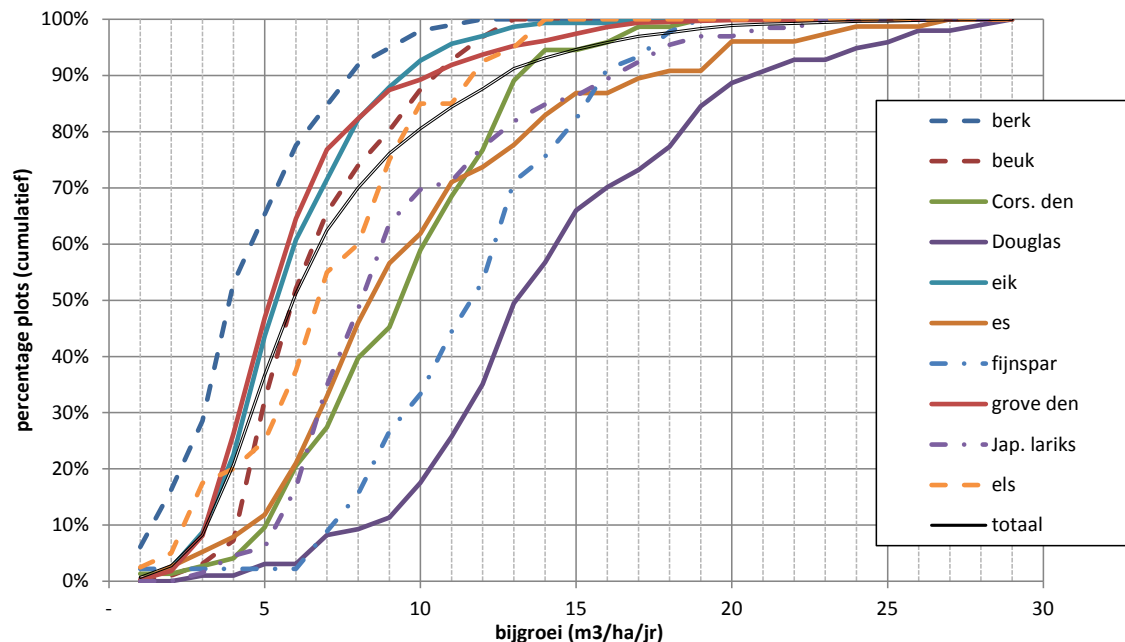


Figuur B2.3 Verloop van de (opper)hoogte van beuk volgens OPTAB (Jansen et al., 1996), waarnemingen in de NBI6 (NFI) en Schütz & Van Tol (1990).



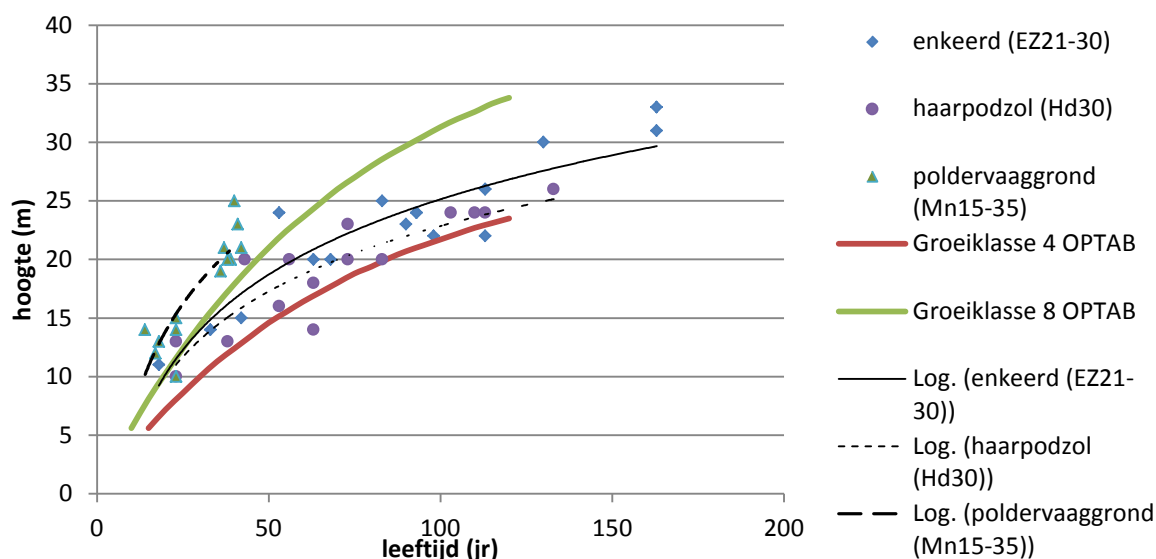
Figuur B2.4 Verloop van de (opper)hoogte van eik volgens OPTAB (Jansen et al., 1996), waarnemingen in de NBI6 (NFI) en Schütz & Van Tol (1990).

Op basis van de data van de NBI6 is ook nagegaan wat voor de verschillende boomsoorten als 'normale' bijgroei beschouwd kan worden. De NBI6 geeft momentopnamen en geen informatie over de gemiddeld (maximale) bijgroei. Wel kan de spreiding in groei inzichtelijk gemaakt worden, evenals bijvoorbeeld de mediane groei. Dit is gedaan in Figuur B2.5, waaruit afgelezen kan worden dat bijvoorbeeld 50% van de plots met douglas als hoofdboomsoort een groei van meer dan 13 m³/ha/jr heeft (en 50% heeft minder), terwijl 10% van de plots meer dan 20 m³/ha/jr bijgroeien. Bij grove den ligt de mediane groei op 5 m³/ha/jr, terwijl dat voor beuk 6 m³/ha/jr is.



Figuur B2.5 Cumulatief aandeel van de plots met een gegeven bijgroeï, op basis van de data van de NBI6.

Uit een analyse van gegevens van de NBI6 blijkt ook een grote variatie aan groeisnelheden binnen een groeiplaats en zelfs binnen bodemtypen (zie voorbeelden in Figuur B2.6). De oorzaak van de variatie moet naast bodemeigenschappen waarschijnlijk ook gezocht worden in de genetische variatie van de verschillende opstanden, hydrologische verschillen en verschillen bij aanleg (grondbewerking), beheer en calamiteiten.



Figuur B2.6 Hoogte van eik bij verschillende leeftijden, op voedselarme bodem (Hd30: humuspodzolgrond) en voedselrijke(re) bodems (EZ21-30: enkeerdgrond; Mn15-35: poldervaaggrond) op basis van data van de NBI6 (Schelhaas et al., 2014), vergeleken met groeiklassen OPTAB.

Bijlage 3 Programma en genodigden workshop nutriëntenbalans

Datum: 11 november, 9:00 uur

Locatie: Alterra, Wageningen

Genodigden: Peter van der Knaap, Ministerie van Economische Zaken; Gerard Grimberg, Ministerie van Economische Zaken (afgemeld); Erwin Al, Staatsbosbeheer; Henk Siebel, Natuurmonumenten en OBN (afgemeld); Jaap van den Briel, Probos; Hans Gierveld, landgoed Twickel; Wim Geraeds, Gelders Landschap en Kastelen (afgemeld); Arno Willems, Kroondomein Het Loo; Rino Jans, Unie van Bosgroepen; Annika van Dijk, VBNE (afgemeld); Jan den Ouden, Wageningen Universiteit; Henk Siepel, Radboud Universiteit; Luc Bonten, Rienk-Jan Bijlsma, Anjo de Jong, Mart-Jan Schelhaas en Joop Spijker en Wim de Vries, allen Alterra.

Doel van de workshop, in het kort:

- Nagaan wat we tot nu toe weten ten aanzien van houtoogst in relatie tot een duurzame nutriëntenbalans in Nederlandse bossen.
- Constateren waar de belangrijkste onzekerheden zitten.
- De belangrijkste knelpunten constateren van oogst:
 - voor welke voedingsstoffen, bodems etc. zijn problemen te verwachten m.b.t. voedingsstoffen?
 - wat is het effect op bodemleven en wat is daar het gevolg van voor het bos?
 - wat kunnen mitigerende maatregelen zijn (kan bemesting een oplossing zijn)?
- Vaststellen hoe we verder gaan.

Agenda

- | | |
|-------|--|
| 8:45 | Inloop |
| 9:00 | Opening en inleiding (Joop Spijker) |
| 9:10 | Resultaten Scenarioberekeningen (Luc Bonten) |
| 9:40 | Visie Staatsbosbeheer (Erwin Al) |
| 9:50 | Visie vanuit het onderzoek (Wim de Vries) |
| 10:00 | Discussie: Nagaan waar prioriteiten liggen voor nadere uitwerking (kennis, toepassing): Voedingsstoffenbalansen, Bodemleven, Mitigerende maatregelen, Inrichting / uitwerking adviesstelsel. |

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

Alterra-rapport 2618
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 2618
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.

