

Het modelleren van beheer ten aanzien van de verarming van heidegrond



Naam: Irene de Jong

Registratienummer: 880131-402-020

Begeleiders: Rolf Groeneveld (ENR) en Marjanke Hoogstra (FNP)

Inhoudsopgave

| | |
|---|----|
| Voorwoord | 4 |
| Hoofdstuk 1: Inleiding | 5 |
| 1.1 Achtergrond | 5 |
| 1.2 Probleemdefinitie | 5 |
| 1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen | 5 |
| 1.4 Methode | 6 |
| 1.5 Structuur van de scriptie | 6 |
| Hoofdstuk 2: Het heidelandschap | 7 |
| 2.1 Geschiedenis van de heide | 7 |
| 2.2 De heide als vegetatie | 8 |
| 2.3 Waarom heidebeheer? | 8 |
| Hoofdstuk 3: Beheer t.a.v. de verarming van heidegrond | 10 |
| 3.1 Mogelijke beheermaatregelen | 10 |
| 3.1.1 Plaggen | 10 |
| 3.1.2 Maaien | 11 |
| 3.1.3 Chopperen | 11 |
| 3.1.4 Vegen | 12 |
| 3.1.5 Begrazen | 12 |
| 3.1.6 Branden | 13 |
| 3.1.7 Houtige opslag verwijderen | 14 |
| 3.1.8 Bekalken | 14 |
| 3.2 Kwantitatieve effecten van de mogelijke beheermaatregelen | 15 |
| 3.2.1 Inleiding | 15 |
| 3.2.2 Uitleg kosten | 16 |
| 3.2.3 Uitleg N-afvoer | 17 |
| 3.2.4 Uitleg biomassa | 17 |
| 3.2.5 Uitleg pH | 18 |
| Hoofdstuk 4: Een model ter analyse van de beheermaatregelen | 20 |
| 4.1 Afbakening van het model | 20 |
| 4.2 Het basismodel | 20 |
| 4.2.1 Introductie variabelen | 20 |
| 4.2.2 Vergelijkingen | 21 |
| 4.2.3 Resultaten | 22 |
| 4.3 Ruimte-effect | 23 |
| 4.3.1 Parameters en variabelen | 23 |
| 4.3.2 Vergelijkingen | 24 |
| 4.3.3 Resultaten | 24 |
| 4.4 Tijdeffect | 29 |
| 4.4.1 Parameters en variabelen | 29 |
| 4.4.2 Vergelijkingen | 30 |
| 4.4.3 Resultaten | 31 |
| Hoofdstuk 5: Toepassing | 34 |
| 5.1 De Lüneburger Heide | 34 |
| 5.1.1 Het heidegebied | 34 |
| 5.1.2 Beheer | 34 |
| 5.1.3 Model Lüneburger Heide | 35 |
| 5.2 Het Dwingelderveld | 37 |
| 5.2.1 Het heidegebied | 37 |

| | |
|---|----|
| 5.2.2 Beheer | 38 |
| 5.2.3 Model Dwingelderveld | 38 |
| Hoofdstuk 6: Discussie en aanbevelingen | 40 |
| Hoofdstuk 7: Conclusie | 42 |
| Samenvatting | 44 |
| Literatuurlijst | 45 |

Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van mijn bachelor scriptie. Na een begintijd van literatuur zoeken en het concretiseren en afbakenen van het onderwerp, ben ik begin april 2009 dan echt begonnen met onderzoeken. Ik wilde 'iets' praktisch en 'iets' met cijfers en/of modellerwerk doen. Dit is allemaal gerealiseerd door in GAMS een script te schrijven voor een aantal heidebeheermaatregelen, met cijfers uit bestaande onderzoeken.

Het opstarten van het modelleren ging moeizaam, aangezien mijn kennis van GAMS was weggezaakt. Bovendien had ik tot voor dit onderzoek nog nooit een geheel nieuw script in GAMS geschreven. Gelukkig was Rolf Groeneveld bereid mij hierbij uitgebreid te helpen, wat voor mij ook zeer motiverend werkte. Daarom wil ik hem graag bedanken voor al zijn hulp, net als Marjanke Hoogstra. Zij wist waar ik terecht kon om bepaalde informatie te verkrijgen en haar opmerkingen hielpen me om overzicht te houden over mijn werk.

Verder wil ik graag Karin Pepers bedanken, een goede vriendin waarbij ik in haar afstudeerhok heb mogen werken. De dagelijkse motivatie en gezelligheid van het naast elkaar werken hebben mij zeker geholpen bij de voortgang van dit onderzoek, waarvoor ik haar dankbaar ben.

Tenslotte wens ik u veel plezier met het lezen van deze bachelor scriptie!

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Achtergrond

Het landschap is een belangrijk element voor de levenskwaliteit en het welbevinden van mensen. Natuurlijke processen en menselijk handelen uit het verleden hebben bepaald hoe het landschap er tegenwoordig uitziet. Nederland kent een grote verscheidenheid aan landschappen, die voornamelijk onder de cultuurlandschappen kunnen worden ingedeeld. Dit zijn landschappen die door de mens zijn gemaakt. Op basis van fysisch-geografische kenmerken kan wel een indeling in negen verschillende landschapstypen worden gemaakt. Deze landschapstypen luiden als volgt: heuvelland, zandgebied, veenkoloniën, rivierengebied, laagveengebied, zeekleigebied, droogmakerijen, kustzone, grote wateren. Dit is een vrij algemene indeling die op basis van andere kenmerken verder te verfijnen is.

Een van de belangrijkste landschappen van het zandgebied wordt gevormd door het heidelandschap. Heide komt slechts in een beperkt aantal landen voor, waaronder de landen aan de West-Europese kuststrook. Het is een typische vegetatie die op plekken voorkomt waar de luchtvochtigheid tamelijk hoog is, de winters zacht en de zomers niet al te warm (Alterra, 2002).

1.2 Probleemdefinitie

Heide is een open landschapstype dat de neiging heeft langzaam te verdwijnen. Dit komt door het feit dat heide groeit op voedselarme grond, aangezien heidesoorten langzame groeiers zijn en op voedselrijke bodems daarom worden weggeconcentreerd door sneller groeiende soorten. Om heide te behouden en/of nieuw heideareaal te creëren is het daarom noodzakelijk om een voedselarme bodem te hebben, wat met de huidige nutriëntendepositie vanuit de lucht niet vanzelf gaat. Ook de input van kunstmest zorgt ervoor dat bodems voedselrijker worden, wat niet zomaar weer ongedaan kan worden gemaakt. Daarom laat men op heidegebieden schapen grazen, worden stukken afgeplagd of afgebrand. Zo zijn er verschillende maatregelen waarmee wordt gepoogd heidegrond arm te houden (Oosterbaan *et al.*, 2006). Oftewel, om heide te behouden is menselijk ingrijpen noodzakelijk.

De diverse beheermaatregelen die kunnen worden toegepast op heidevegetaties hebben verschillende eigenschappen, zoals verschillen in kosten, een verschillend effect op de afvoer van nutriënten en op de herstelsnelheid van de heide. Ook de maatschappelijke acceptatie verschilt van maatregel tot maatregel. Om inzicht te verkrijgen in de afwegingen die ten grondslag liggen aan het kiezen van een bepaald beheer, is het nodig deze in een model te kwantificeren en te vergelijken. Voordat dit kan gebeuren, moet er eerst informatie worden verkregen over de verschillende beheermaatregelen en de effecten hiervan.

1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is het analyseren van de beheermaatregelen die tot verarming van heidegrond leiden. Analyseren houdt ten eerste in, het beschrijven van de verschillende typen beheer die kunnen worden toegepast om heidegrond te verarmen. Verder wordt er hier bedoeld het vergelijken van de effecten van deze typen beheer en het kwantificeren van deze effecten. Dit wordt gedaan door eerst via literatuurstudie te verkennen wat voor beheer er mogelijk is en vervolgens in GAMS een model te schrijven. Dit model heeft als doel een methode te ontwikkelen waarmee

kosteneffectief beheer berekend kan worden. Hierna wordt het model toegepast op specifieke heidegebieden, om te kijken wat de geoptimaliseerde beheermaatregelen in de praktijk te betekenen hebben. Hierbij wordt gekeken naar het beheer dat wordt gevoerd in een gebied en hoe dit overeenkomt met het meest optimale, kosteneffectieve beheer dat uit het model komt. Met optimaal beheer wordt het beheer bedoeld, waarbij de kosten minimaal zijn voor de doelstelling die gerealiseerd dient te worden.

Op basis van bovenstaande informatie zijn de volgende onderzoeksvragen tot stand gekomen.

- 1: Wat voor beheermaatregelen zijn er mogelijk ten aanzien van de verarming van heidegrond?*
- 2: Wat zijn de kosten en effecten van de mogelijke beheermaatregelen?*
- 3: Hoe kunnen deze beheermaatregelen met een optimaliseringmodel in kaart worden gebracht?*
- 4: Wat voor resultaten geeft het model bij een toepassing op specifieke heidegebieden?*

1.4 Methode

Onderzoeksvragen (1) en (2) worden beantwoord middels het uitvoeren van een literatuurstudie. Er zal voornamelijk grijze literatuur geraadpleegd worden, zoals onderzoeksrapporten van Alterra. De kwantitatieve effecten worden overzichtelijk in een tabel weergegeven en uitgelegd. Onderzoeksvragen (3) en (4) worden beantwoord middels het bouwen van een model in het optimaliseringprogramma GAMS. Dit gebeurt door eerst een algemeen model te ontwikkelen en vervolgens gegevens van een specifiek gebied in te voeren, zodat bekeken kan worden wat voor kosteneffectief beheer er in dat gebied volgens het model zou moeten worden gevoerd.

1.5 Structuur van de scriptie

Na deze inleiding volgt allereerst een 2^e hoofdstuk met achtergrondinformatie over het heidelandschap, zodat men een idee heeft waar de beheermaatregelen die beschreven worden betrekking op hebben. Na de theoretische informatie over heide volgt dan ook meteen een 3^e hoofdstuk met een uitleg van de beheermaatregelen die gehanteerd kunnen worden. Het heidebeheer wordt uitgelegd middels een beschrijving van de mogelijke maatregelen en de effecten die zij hebben op de heide.

Vervolgens komt in hoofdstuk 4 een beschrijving van de modelbouw in het optimaliseringprogramma GAMS aan bod, evenals de aannames die hierbij worden gedaan. Dit model wordt in hoofdstuk 5 toegepast op specifieke heidegebieden, zoals de Lüneburger Heide en het Dwingelderveld, om te kijken wat het model zegt over het beheer dat hier gevoerd zou moeten worden en wat dat voor effecten zou hebben.

Tenslotte eindigt dit onderzoek met een 6^e hoofdstuk, die de discussie en aanbevelingen bevat, en een 7^e hoofdstuk waarin de conclusie te vinden is. In de conclusie zullen de onderzoeksvragen beantwoord worden.

Hoofdstuk 2: Het heidelandschap

2.1 Geschiedenis van de heide

Het heidelandschap wordt gezien als een halfnatuurlijk landschap, dat wil zeggen een landschap dat deels door de natuur en deels door de mens geschapen is. De heidevelden die men tegenwoordig nog in West-Europa vindt, zijn ontstaan rond het jaar 900. Rondtrekkende landbouwers verkregen vruchtbare akkers door stukjes land in brand te steken, zodat ze 2 a 3 jaar een vruchtbare akker hadden. Na die tijd trokken ze weer verder om een nieuw stuk grond af te branden. Voordat de landbouwers langskwamen waren de droge, arme zandgronden bedekt met bomen (zoals de berk en de grove den), maar doordat de boeren hun gebruikte akkertjes kaal, uitgeput en voedselarm achterlieten, vonden heideplanten op deze gebruikte veldjes een geschikte groeiplaats en konden heidevelden ontstaan (Oosterbaan *et al.*, 2006).

De landbouwers hielden schapen om mest te verkrijgen in een zogenaamde potstal (een stal met verdiepte bodem). Overdag graasden de schapen op de heide en 's nachts gingen ze in de potstal. De schapen stonden op een ondergrond van heideplaggen, zodat de mest hierin terecht kwam. De heideplaggen werden dan in het voorjaar verspreid over de akkers, zodat deze vruchtbaarder werden. Door het begrazen en plaggen kon de heide voort blijven bestaan, doordat de voedselrijke bovenste laag iedere keer verwijderd werd. Via dit principe konden boeren ook genoeg mest verzamelen om hun akkers in goede conditie te houden en zo werkten veehouderij en akkerbouw elkaar in de hand (De Smet *et al.*, 2004).

Vanaf de 13^e eeuw nam de bevolking steeds verder toe en de voedselproductie door landbouwers werd hierdoor steeds belangrijker. Het oppervlak aan akkers werd uitgebreid, maar om ook genoeg mest te hebben moest de schapenpopulatie flink groeien. De heidevelden werden hierdoor steeds armer (intensiever begraasd) en de essen (de opgehoogde akkers om de dorpen heen) steeds voedselrijker. De bevolking bleef toenemen en daarom had men steeds meer voedsel en dus meer mest nodig om dit te kunnen realiseren. Om het toegenomen aantal schapen te houden waren ook meer plaggen in de potstallen nodig en dus werd er meer geplagd. Het potstalsysteem werd hét landbouwsysteem. Er werd steeds vaker en op grotere arealen geplagd, waardoor de heidevegetatie zich niet meer kon herstellen tussen de verschillende plagbeurten in (Stuijzand *et al.*, 2004; Oosterbaan *et al.*, 2006). Hierdoor verdwenen bos en heide en ontstonden er in de 18^e en 19^e eeuw zandverstuivingen, welke akkers en dorpen met overstuiving bedreigde.

Rond 1880 veranderde de landbouw zodanig dat het heidelandbouwsysteem verdween. De kunstmest werd uitgevonden en doordat er goedkope wol uit Australië op de markt kwam, waren de schapen ook niet meer nodig voor hun wolproductie. Hierop besloot men de heide te ontginnen. Om de stuifzanden te beperken werden organisaties als de Nederlandse Heidemij en Staatsbosbeheer opgericht; zij ontgonnen de 'woeste gronden' door grove dennen te planten, waardoor bossen ontstonden ten koste van heidevelden en stuifzanden. In 1850 was er in Nederland nog 600.000 ha hei, in 1938 nog maar 150.000 ha en tegenwoordig heeft het areaal (droge) heide nog maar een omvang van 40.000 ha. (Oosterbaan *et al.*, 2006).

2.2 De heide als vegetatie

Heidevelden zijn er in verschillende soorten en maten. De verschillende vegetatietypen die in een heidegebied kunnen voorkomen worden bepaald door kleine verschillen in waterhuishouding, die samenhangen met verschillen in reliëf en voedselrijkdom. In het kort kun je zeggen dat op het hoogste punt in een heidegebied de stuifzanden en/of duinen voorkomen en wat lager de droge heide. Grondwater is hier moeilijk bereikbaar. Het grondwater heeft zijn invloed op de heide alleen in de lager liggende gebieden, waar de wortels van de heideplanten met het water in contact komen. In dit geval spreken we van het vegetatietype natte heide. Op de laagste plekken in een heidegebied vind je tenslotte vennen (Stuifzand *et al.*, 2004).

Stuifzanden en duinen zijn kale vegetatietypen die vooral worden gekenmerkt door het feit dat de wind er vrij spel heeft. Het zand is beweeglijk, humusloos en zorgt daarom voor een sterke erosie. De weinige begroeiing die kan ontstaan bestaat vooral uit helmgras, buntgras en zandzegge. Wat lager dan de stuifzanden en duinen komt de droge heide voor, op zogenaamde hoge gronden met een droog podzolprofiel. Vooral de struikhei domineert hier, die in augustus de alom bekende paarse kleur krijgt.

Naarmate men lager komt zal de natte heide zijn intrede doen. De vegetatie is hier grondwaterafhankelijk en bestaat vooral uit gewone dopheide, die met zijn wortels precies bij het grondwater kan komen. Op de plekken in een heidegebied waar water stagneert op een ondoorlatende laag ontstaan vennen. Het grondwater komt hier tot aan de oppervlakte en dit water is voedselarm en zuur. Door de zuurheid van het water worden bacteriële afbraakprocessen tegen gehouden, waardoor dood organisch materiaal zich op de bodem van de vennen verzamelt. De mineralen die zich in dit dood organisch materiaal bevinden komen hierdoor niet vrij, waardoor het milieu verarmt (De Smet *et al.*, 2004).

2.3 Waarom heidebeheer?

Zoals eerder gezegd is een heidelandschap een halfnatuurlijk landschap. Wanneer de mens deze niet beheert, zal de heide steeds voedselrijker worden doordat de strooisel- en humuslaag steeds dikker wordt naarmate de heide ouder wordt. Heidesoorten zijn echter langzame groeiers en naarmate de bodem voedselrijker wordt zullen sneller groeiende plantensoorten de heide wegconcurreren. Uiteindelijk zal een heidevegetatie dan overgaan in bos. De vroegere landbouwpraktijken hielden de ideale groeicondities voor de heide vanzelf in stand, maar tegenwoordig is er speciaal beheer voor nodig om dit te realiseren (Oosterbaan *et al.*, 2006).

Een andere reden waarom in het verleden de heide is verdwenen, is bijvoorbeeld de beplanting met naaldbout. Om aan de vraag naar hout te voldoen was er voldoende oogsthout nodig en daarom werden in de vorige eeuw zogenaamde productiebossen aangelegd. Deze aanplanting is onder andere ten koste gegaan van heidevelden. Verder worden de voedselarme vennen bedreigd door eutrofiëring, door voedselrijk water wat instroomt vanaf landbouwgronden. De intensieve veeteelt en het algemene gebruik van kunstmest in de 2^e helft van de 20^e eeuw hebben tot een steeds sterkere eutrofiëring geleid (Milieuloket, 2003). De landbouw zorgt ook voor het inwaaien van kunstmest (De Smet *et al.*, 2004). De depositie van stikstof en zwavel vanuit de lucht leidt ook tot schade aan de heide, door verzuring van de bodem en een versneld mineralisatieproces (Oosterbaan *et al.*, 2006). Tot slot kan overmatige betreding ook

een bedreiging voor heide zijn, doordat vegetatie vernietigt wordt en erosie hierdoor vrij spel krijgt (De Smet *et al.*, 2004).

Er zijn verschillende redenen waarom de achteruitgang van heide een onwenselijke situatie is. Denk bijvoorbeeld aan het feit dat mensen in hun vrije tijd graag recreëren in een heidelandschap, omdat heide een zekere natuurwaarde heeft en de paars gekleurde velden als mooi worden beschouwd. Ook is het in stand houden van ons culturele erfgoed een reden om heidebeheer te voeren, net als het feit dat bepaalde (bedreigde) diersoorten, zoals het heidehaantje, de knoflookpad en de hazelworm, een geschikt habitat vinden in heidevegetaties (Müller, 2004; De Smet *et al.*, 2004).

Hoofdstuk 3: Beheer ten aanzien van de verarming van heidegrond

Het moderne heidebeheer kent zijn oorsprong in de methoden van de vroegere landbouwpraktijken. De methoden zijn echter wel meegegaan met de technische vooruitgang en tegenwoordig, voor zover mogelijk, gemechaniseerd. Er zijn verschillende maatregelen die kunnen worden uitgevoerd om heide te behouden, te weten: plaggen, maaien, chopperen, vegen, begrazen, branden, houtige opslag verwijderen en bekalken. De verwachting is dat een combinatie van maatregelen het meest succesvol is wat betreft het afvoeren van nutriënten. De effectiviteit van de maatregelen hangt af van de uitgangssituatie waarin de heide verkeert. Denk hierbij aan de abiotische omstandigheden, het type heide en de oorzaak van de achteruitgang van een heidegebied (Oosterbaan *et al.*, 2006). Hieronder volgt allereerst een beschrijving van de mogelijke beheermaatregelen, gevolgd door een beschrijving en een overzicht van de effecten.

3.1 Mogelijke beheermaatregelen

3.1.1 Plaggen

Het doel van plaggen is het afvoeren van nutriënten en organisch materiaal uit een heidevegetatie. Dit gebeurt door middel van het verwijderen van de oppervlakkige, organische bodemlaag en de bovengrondse plantendelen. Plaggen wordt gezien als een effectieve maatregel als je een sterk vergraste heide weer terug wilt brengen naar een typische heidebiotoop (Van Dobben *et al.*, 2003).

Het resultaat van plaggen hangt onder andere af van de diepte van plaggen. Te diep afplaggen zou ervoor zorgen dat de zaadbank verloren gaat en dit mag juist niet gebeuren. Te ondiep plaggen zou ervoor kunnen zorgen dat grassen zoals het pijpenstrootje voort kunnen blijven bestaan, welke niet thuishoort in een heidevegetatie. Door middel van plaggen wordt de successie zo'n 20 tot 30 jaar teruggezet en de regeneratie van de heide kan alleen tot stand komen vanuit een zaadbank. Struikheide en dopheide zijn soorten die een omvangrijke zaadbank aanleggen, in tegenstelling tot grassen, waardoor na plaggen op een geschikte diepte de heide wel kan ontkiemen, maar de grassen niet terugkomen. Bovendien hebben de zaden van grassen maar een korte levensduur, terwijl die van heide tientallen jaren kiemkrachtig blijven (De Smet *et al.*, 2004).

Plaggen kan op drie verschillende manieren gebeuren, namelijk: (1) met de hand, (2) machinaal met een graafmachine (kleinschalig plaggen) of (3) machinaal met een speciale plagsmachine (grootschalig plaggen). Het afgevoerde plagsel wordt tegenwoordig zoveel mogelijk gerecycled. Dit gebeurt bijvoorbeeld door het op landbouwgrond te gebruiken of in hetzelfde gebied neer te leggen om andere percelen natuur te herstellen (door middel van het rijke aanbod aan zaden in plagsel). Alleen als het plagsel nergens van nut kan zijn, wordt het voor verwerking aangeboden aan een composteerinrichting (Oosterbaan *et al.*, 2006). Over het tijdstip waarop men het beste kan plaggen, is geen eenduidigheid. Wat betreft de fauna lijkt begin juli het meest geschikt, omdat het broedseizoen voor de vogels dan voorbij is en de reptielen nog geen jongen hebben (De Smet *et al.*, 2004). Anderzijds is wat betreft de ontwikkeling van de vegetatie oktober de beste maand om te plaggen, want dan kun je de meeste nutriënten en organisch materiaal afvoeren.

Ook de schaal van plaggen is bepalend voor het resultaat. Afgeplagde gebieden blijven over een lange periode structuurarm en diersoorten die gebonden zijn aan structuurvariatie, ondervinden hier een negatieve invloed van. De voorkeur wordt daarom gegeven aan kleinschalig plaggen, waardoor diersoorten die open plekken nodig hebben om te graven of te jagen, een gunstige invloed van plaggen kunnen ondervinden (Diemont & Linthorst Homan, 1989).

Een nadelig effect van plaggen is dus dat de vegetatie die zal ontstaan, soortenarm en monotoon is. Een ander nadeel is dat, wanneer er geplagd wordt op een verzuurde bodem, er gedurende een korte tijd na het plaggen een toename van de hoeveelheid ammonium plaatsvindt. Het milieu dat hierdoor ontstaat is ongeschikt voor verschillende heidesoorten en kan leiden tot een verder verlies van karakteristieke heidesoorten. Verder kan het ook zo zijn dat er na plaggen opslag van bomen optreedt. Bomensoorten als de berk en de grove den verspreiden zich via de wind en profiteren van de staat van de grond die achterblijft na plaggen (Oosterbaan *et al.*, 2006).

3.1.2 Maaien

Maaien heeft als doel het afvoeren van voedingsstoffen door middel van het verwijderen van de bovengrondse biomassa. Hierdoor wordt de begroeiing verjongd en wordt de aangroei van de strooisellaag vertraagd. Het wel of niet maaien van heide wordt onder andere door de leeftijd van de vegetatie bepaald. Struikheide met een leeftijd tot 10 jaar geeft een goede regeneratie, in tegenstelling tot struikheide van 10 jaar en ouder. Bij dopheide kan de vegetatieve regeneratie nog makkelijk op gang komen wanneer deze gemaaid wordt voor een leeftijd van 20 jaar (Oosterbaan *et al.*, 2006).

Het maaien kan het beste zo laat mogelijk in het seizoen gebeuren, omdat de biomassa dan maximaal is en er dus de meeste nutriënten afgevoerd worden. Ook de zaadzetting van grassoorten is dan nog niet op gang gekomen, waardoor grassen zich minder goed kunnen verspreiden (De Smet *et al.*, 2004).

Net als plaggen heeft maaien een negatieve invloed op de structuur van de heide. Door grootschalig te maaien ontstaat een lage en dichte vegetatie, waarbij open plekken ontbreken. Wanneer er bovendien zware machines ingezet worden om te maaien, wordt het microreliëf van de bodem aangetast: de bodem wordt in dat geval vlakker. Fauna ondervindt hier hinder van: vooral reptielen en mieren zijn niet gebaat bij maaien. Verder wordt er bij het maaien van heide ten opzichte van plaggen relatief weinig nutriënten afgevoerd. Hierdoor zal er ook relatief vaker gemaaid moeten worden om een vergraste heide weer in betere conditie te krijgen, wat de negatieve effecten van maaien verergert (Oosterbaan *et al.*, 2006).

3.1.3 Chopperen

Chopperen is een beheermaatregel die tussen maaien en plaggen inzit: je kunt het zien als ondiep plaggen of juist diep maaien. Het doel van chopperen is het afvoeren van nutriënten en het verwijderen van de vegetatie en een deel van de strooisellaag. Dit betekent dat de bovengrondse plantendelen en een deel van de oppervlakkige, organische bodemlaag wordt weggehaald.

Wanneer er niet al te diep gechopperd wordt, kan struikheide regenereren vanuit de wortelhalzen. Echter, wanneer de choppermachine diep staat ingesteld en de

heideplanten onder de wortelhals worden afgemaaid, moet de struikheide terugkomen vanuit de zaadbank. Chopperen is effectief om vergrassing tegen te gaan, maar alleen als de strooiselophoping in de heidevegetatie niet al te groot is (slechts enkele centimeters). In het geval er wordt gechopperd in een gebied met een relatief dikke strooisellaag, ontstaat er juist een geschikte kiembodem voor grassen, waardoor de vergrassing alleen maar gestimuleerd wordt (Oosterbaan *et al.*, 2006).

Wat betreft de effecten is chopperen vergelijkbaar met plaggen, zij het dat de effecten minder drastisch zijn. Het kleinschalig toepassen van chopperen kan positieve effecten hebben, alhoewel chopperen ook leidt tot een vlakke, monotone vegetatie (Stuijzand *et al.*, 2004).

3.1.4 Vegen

Vegen is een maatregel die wordt toegepast nadat een heidevegetatie gemaaid is. Met een heideveegmachine wordt de strooisellaag tussen de heideplanten uit geveegd, waardoor nutriënten worden afgevoerd. De hoeveelheid die wordt afgevoerd is afhankelijk van de diepte van de bewerking en is minder dan bij chopperen.

Vegen heeft als gevolg dat de bodem verschaalt, waarbij oudere planten blijven staan en nieuwe meer kans krijgen om te kiemen. Het vegen van heide heeft veel minder effect op de vegetatie dan chopperen en plaggen. Wat betreft de structuur van de heide is dit gunstig, maar grassoorten die relatief zware zaden hebben kunnen overleven, wat dus betekent dat de vergrassing minder effectief wordt teruggedrongen (Oosterbaan *et al.*, 2006).

3.1.5 Begrazen

Het doel van begrazen is het in stand houden en/of verbeteren van de heidevegetatie. Dit betreft zowel de heideplanten zelf, als het terugdringen van grassen, het tegengaan van struik- en boomopslag en het creëren van een horizontale en verticale structuur.

Begrazing als beheermaatregel bestaat in twee varianten, namelijk begrazing als regulier beheer en begrazing als herstelmaatregel. Wanneer begrazing wordt toegepast in het kader van herstel, wordt deze intensiever toegepast. Dit wordt ook wel drukbegrazing genoemd. Nadat een vegetatie is hersteld wordt overgestapt naar een extensievere vorm van begrazingsbeheer.

Reguliere begrazing kan op twee manieren worden toegepast. Ten eerste kennen we de zogenoemde 'integrale begrazing'. Hierbij verblijft een kudde dieren jaarrond in een terrein van aanzienlijke omvang. Ten tweede kennen we 'gestuurde begrazing', wat de seizoensbeweiding van heidegebieden inhoudt. De periode en plaats van begrazing worden beïnvloed door de beheerder, waardoor gestuurde begrazing kan worden ingezet om specifieke beheerdoelen te realiseren. Hierbij kan sprake zijn van beweiding binnen een raster of van gescheperde beweiding (begeleide kuddes).

Als grazers worden runderen, paarden, schapen of geiten ingezet. Ook dieren als edelhert, damhert, ree en wild zwijn kunnen op de heide foerageren, maar deze worden niet ingezet in het begrazingsbeheer. Verder nemen konijnen een speciale plaats in bij de begrazing van heide, aangezien zij afhankelijk zijn van andere grazers die worden ingezet. Konijnen eten vooral lage grassen en kruiden en dragen daarom bij aan het verbeteren van vergraste heide die door andere grazers kort wordt

gehouden. Wanneer een begroeiing is doorgesloten, wat dus gebeurt bij vergraste heide wanneer er geen grote grazers worden ingezet, is deze niet aantrekkelijk voor konijnen en zullen zij er niet grazen. Bovendien graven konijnen veel, waardoor er open zandplekken en microreliëf ontstaat, wat weer gunstig is voor andere fauna. Begrazing door konijnen wordt niet direct gestuurd door mensen. De natuurlijke populaties konijnen worden echter wel gestimuleerd tot grazen wanneer er andere dieren worden ingezet om de heide te begrazen.

De voedselkwaliteit van de heide is met name bepalend voor welk soort grazer het beste kan worden ingezet. Wanneer een heide niet of nauwelijks is vergrast, kunnen schapen en runderen alleen worden ingezet wanneer het begrazingsgebied ook graslanden bevat. De combinatie van runderen en schapen blijkt het meest effectief om vergrassing en verbossing terug te dringen. Soms bereiken paarden ook goede resultaten, net als geiten in combinatie met een andere diersoort. Geiten zijn het minst kieskeurig in hun foeragegedrag en kunnen daarom ook worden ingezet om braam- en berkenopslag terug te dringen.

Begrazing is nauwelijks geschikt om nutriënten af te voeren, omdat hiervoor een te hoge graasdruk gehanteerd zou moeten worden. Een te hoge graasdruk betekent dat de grazende kuddes juist een negatief effect hebben op de heidevegetatie. Dit uit zich in een nivellerend effect op de vegetatiestructuur, en bovendien zorgt begrazing voor een versnelde omzet van biomassa in nutriënten door bijvoorbeeld het intrappen van de strooisel- en humuslaag. Verder levert de ontlasting van de grazende kuddes plaatselijk weer verrijking van de bodem op. Op de plekken waar veel mest terecht komt en de grazers rusten kan de heidevegetatie verdrongen worden door grassen.

Wat met begrazing wel bereikt kan worden, is het kort afgrazen van grassen, zoals Bochtige Smele en het Pijpenstrootje. Ook zorgen grote grazers ervoor dat dichte grasmatten worden losgetrapt, waardoor er gaten in ontstaan waarin andere planten zich kunnen vestigen. Een gunstig effect van begrazing is dat de dominantie verschuift van een gras als Bochtige Smele of Pijpenstrootje ten gunste van struikheide (Oosterbaan *et al.*, 2006).

De strooisel- en humuslaag wordt dunner, doordat de input van organisch materiaal minder is. De voorraad organische stof in de bodem neemt af. Verder zorgt het intrappen van de strooisel- en humuslaag door de dieren voor een versnelde mineralisatie, waardoor vergrassing wordt vertraagd.

Waar vergrassing effectief kan worden tegengegaan door begrazing, kan de opslag van struik- en bomensoorten niet effectief worden tegengegaan door begrazing. Hiervoor zijn aanvullende beheermaatregelen nodig. De grazende dieren eten wel jonge takjes van houtige gewassen, maar de graasdruk is te laag om verbossing geheel tegen te kunnen gaan (Stuijzand *et al.*, 2004). Een uitzondering hierop zijn de gescheperde schaaps- en geitenkuddes. Deze kuddes kunnen in een korte tijdsperiode effectief worden ingezet om de opslag van houtige soorten terug te dringen, zoals braam, ruwe berk, zachte berk en zomereik.

Begrazing is een maatregel die voornamelijk wordt toegepast in droge heidegebieden. Natte heidegebieden zijn nauwelijks geschikt voor begrazing, doordat de bijbehorende vegetatie gevoelig is voor betreding en Dophei nauwelijks gegeten wordt door grazers.

Alleen wanneer natte heide sterk is vergrast met Pijpenstrootje zou seizoensbeweiding ingezet kunnen worden (Oosterbaan *et al.*, 2006).

3.1.6 Branden

Branden als beheermaatregel betekent het gecontroleerd in brand zetten van een deel van een heidegebied. Het doel hiervan is het verjongen van Struikheide en het afvoeren van nutriënten. De vegetatie wordt geheel weggebrand en de strooisellaag geheel of gedeeltelijk (De Smet *et al.*, 2004). Als er in de zomer wordt gebrand, verdwijnt ook een deel van de humuslaag. Heideplanten overleven echter het beste als er in de winter (januari/februari) wordt gebrand. Struikheide met een leeftijd tot 10 jaar kan na het branden weer uitlopen, terwijl oudere Struikheide hier moeite mee heeft. De warmte stimuleert de kieming van heidezaadjes.

Het branden van een vergraste heide heeft in het verleden geresulteerd in een verdere vergrassing van het betreffende heidegebied. Dit komt doordat er nutriënten vrijkomen, waar Bochtige Smele en Het Pijpenstrootje van kunnen profiteren. De zaden van deze soorten overleven het branden en verhogen hun productie hierna. Hierdoor kan de grasbedekking door branden zelfs toenemen. De laatste jaren is het echter zo dat dit waarschijnlijk minder het geval is, doordat de vermindering van de stikstofdepositie de vergrassingseffecten tegenwerkt. Dit maakt branden nog geen effectieve maatregel tegen vergrassing. Wat betreft het verwijderen van houtige opslag is branden wel effectief (Oosterbaan *et al.*, 2006). Het afbranden van heidegebieden is een beheermaatregel die steeds minder wordt gebruikt. Voor kleine oppervlakten is branden nauwelijks geschikt en grote vaardigheid is vereist om een brand in controle te houden (De Smet *et al.*, 2004).

Het tijdstip van branden is niet alleen van belang voor het overleven van de heideplanten zelf, maar ook voor de bodemfauna. Voor het overleven van de fauna is het belangrijk dat de strooisellaag niet volledig wordt aangetast. Daarom kan het beste in de winter worden gebrand of bij schraal weer als de bodem vochtig of bevroren is. Dit in acht genomen kan een groot deel van de bodemfauna overleven, mits de strooisellaag goed ontwikkeld is. Is de strooisellaag slecht ontwikkeld, dan kan branden zelfs desastreus zijn voor de bodemfauna (Oosterbaan *et al.*, 2006).

3.1.7 Houtige opslag verwijderen

Het verwijderen van houtige opslag is, net als begrazen, een afwijkende beheermaatregel. Deze maatregelen zijn namelijk niet gericht op de heideplanten zelf en het verarmen van de bodem. Het is een aanvullende maatregel, die naast maatregelen om nutriënten af te voeren kan worden ingezet. Het doel is om de verbossing van heide te voorkomen en de openheid te bewaren door bomen en struiken weg te halen.

Houtige opslag van 3 tot 5 jaar oud kan er met de hand uitgetrokken worden. Als de opslag ouder en groter is kan een bosmaaier of kettingzaag worden ingezet, waarna de overblijvende resten worden bewerkt met een chemisch middel om uitlopen te voorkomen. Verder kan houtige opslag ook nog machinaal of met een paard worden geroid.

Deze beheermaatregel heeft weinig neven-effecten, naast het doel van de maatregel dat heideterreinen er opener door worden. Door het trekken of rooien van opslag kan

er alleen bodemverstoring optreden, wat op de betreffende plekken positief is voor de kiemingsmogelijkheden van planten (Oosterbaan *et al.*, 2006).

3.1.8 Bekalken

Bij 3.1.1 werd al gemeld dat, wanneer er geplagd wordt op een reeds verzuurde bodem, er na het plaggen een toename van de hoeveelheid ammonium kan optreden. Hierdoor ontstaat een ongeschikt leefmilieu voor karakteristieke heidesoorten. Om dit op te lossen kunnen de gebieden waar verzuring speelt, bekalkt worden met mergel (CaCO₃) of met dolokal (CaCO₃/MgCO₃). Hierdoor wordt de zuurgraad van de bodem verlaagd.

Het bekalken van heide is een geschikte beheermaatregel in gebieden met een gedegradeerde, voorheen soortenrijke heide, omdat de achteruitgang hiervan meestal het gevolg is van verzuring. Door te bekalken nemen de basenverzadiging en de bodem pH toe. Ook wordt de NH₄/NO₃ ratio in de bodem verlaagd. Hierdoor wordt de bodem geschikter gemaakt voor karakteristieke heidesoorten, waardoor deze kunnen terugkomen (Oosterbaan *et al.*, 2006). Een nadeel van bekalken is echter dat door het toevoegen van kalk de humus versneld wordt afgebroken, waardoor nutriënten vrijkomen (Stuijzand *et al.*, 2004).

3.2 Kwantitatieve effecten van de mogelijke beheermaatregelen

3.2.1 Inleiding

Hieronder is een overzichtstabel te zien waarin de kosten en effecten van de in 3.1 beschreven beheermaatregelen zover mogelijk zijn opgenomen. De kosten zijn gebaseerd op het normenboek van Alterra (Wageningen, 2006). De stikstofafvoer, biomassa productie en de zuurgraad zijn op basis van Van der Hoek & Heuberger (2006). De kosten zijn gegeven per hectare per keer. De effecten zijn weergegeven per hectare per jaar, voor een plagfrequentie van eens in de 30 jaar en een maaifrequentie van 1 tot 4 keer per jaar. Bij begrazing wordt er uitgegaan van een jaarrondbegrazing. Wanneer een maatregel op een hectare is uitgevoerd gaan we er hier van uit dat er datzelfde jaar geen andere maatregel op wordt toegepast (Van der Hoek & Heuberger, 2006).

Tabel 1: Overzichtstabel kosten en effecten beheermaatregelen

| Maatregel | Kosten | N-afvoer | Biomassa | Zuurgraad (pH) |
|----------------|---|--|--|-------------------|
| Plaggen | Kleinschalig: € 5,25 per m ³ → € 4200 per ha Grootschalig: € 3,21 per m ³ → tussen € 1750 en € 3800 per ha | Droge heide: 3200 mol/ha/j Natte heide: 4200 mol/ha/j | Droge heide: 17,62 ton/ha/j Natte heide: 23,09 ton/ha/j | Droge heide: 3,65 |
| Maaien | € 405 per ha | Droge heide: 2300 mol/ha/j Natte heide: 1200 mol/ha/j | Droge heide: 6,26 ton/ha/j Natte heide: 9,31 | Droge heide: 3,44 |

| | | | ton/ha/j | |
|-----------------------------------|-----------------------|--|--|-------------------|
| Chopperen | € 426 - € 998 per ha | | | |
| Vegen | € 887 per ha | | | |
| Begrazen | € 171 per ha per jaar | Droge heide: 100 mol/ha/j Natte heide: 400 mol/ha/j | Droge heide: 32,07 ton/ha/j Natte heide: 34,97 ton/ha/j | Droge heide: 3,84 |
| Branden | € 447 per ha | | | |
| Houtige opslag verwijderen | € 500 per ha | | | |
| Bekalken | Onbekend | | | |

3.2.2 Kosten

De **kosten voor plaggen** bestaan uit drie delen, namelijk (1) het opnemen van het plagsel, (2) het transporteren van het plagsel en (3) het verwerken van het plagsel. Daarbij hangt de hoogte van de verschillende de kosten af van het feit of er kleinschalig of grootschalig wordt geplagd. Kleinschalig plaggen (machinaal, met een graafmachine) kost € 5,25 per m³ bij 800 m³ plagsel per hectare, wat uitkomt op een totaalbedrag van € 4200 per hectare (Oosterbaan *et al.*, 2006). Voor grootschalig plaggen (machinaal, met een plagmachine) variëren de kosten afhankelijk van de hoeveelheid plagsel die vrijkomt. Het bedrag per m³ plagsel is € 3,21 en de totale kosten per hectare liggen daardoor over het algemeen tussen € 1750 (bij ca. 545 m³ plagsel) en € 3800 (bij ca. 1180 m³ plagsel) (Alterra, 2006).

De kosten voor het transporteren van plagsel hangen af van het feit of het plagsel meer of minder dan 20 km wordt getransporteerd. Is dit minder dan 20 km, dan zijn de kosten € 0,10 per m³ per km. Is dit meer dan 20 km, dan zijn de kosten € 2,10 per m³ per km. Het verwerken van het plagsel kan gebeuren door inname bij een centraal depot, dit kost € 2,45 per m³. Soms kan het echter zo zijn dat het plagsel door een gespecialiseerd bedrijf voor een lagere prijs verwerkt wordt, of dat het plagsel wordt gebruikt op landbouwgrond. Hier zijn in het normenboek geen kosten voor bekend (Alterra, 2006).

Aangezien de kosten voor transport en verwerking in hoge mate variabel zijn, zijn in de overzichtstabel alleen de daadwerkelijke kosten voor het plaggen zelf opgenomen. Ook voor de andere beheermaatregelen geldt dat de transport- en verwerkingskosten variabel zijn. De tarieven per m³ per km komen wel overeen, maar dat betekent dat je maatregelen dus niet objectief kunt onderscheiden op basis hiervan, aangezien de afstand en hoeveelheid per keer kunnen verschillen. Daarom zal er aan de kosten voor transport en verwerking verder geen aparte aandacht worden besteed in deze paragraaf, enkel aan de kosten voor het uitvoeren van de maatregelen.

De **kosten voor maaien** zijn € 405 per hectare, aldus het normenboek (Alterra, 2006). De **kosten voor chopperen** zijn daarentegen afhankelijk van het feit of er gechopperd wordt met een speciale choppermachine, of dat er een trekker met een laad/maai-

wagen wordt ingezet (Alterra, 2006). Verder wordt er onderscheid gemaakt tussen een gewenste hoge of lage opbrengst. Om de kosten van chopperen uit te rekenen dient er verder een transportafstand ingevoerd te worden, deze afstand is bij het raadplegen van het normenboek in alle gevallen zo kort mogelijk gehouden, te weten 100 meter. Hierdoor hebben de transportkosten zo'n klein mogelijke invloed op de totale chopperkosten.

Tabel 2: Kosten voor chopperen

| | Choppermachine | Trekker m. laad/maaiwagen |
|-----------------------|-------------------------------------|---|
| Lage opbrengst | € 426 bij 150 m ³ per ha | € 887 bij 150-300 m ³ per ha |
| Hoge opbrengst | € 526 bij 400 m ³ per ha | € 998 bij 250-400 m ³ per ha |

Voor het *wegvegen* van de strooisellaag tussen de heidestruiken uit, kan één bedrag neergezet worden. Het normenboek noemt dit het vegen en afvoeren van humus, wat € 887 per hectare kost. Hierbij wordt tussen de 150 en 250 m³ per hectare weggehaald door een trekker met een veeg/laadwagen. Ook het *afbranden* van heide kan in één bedrag gevat worden, namelijk € 447 per hectare (Alterra, 2006).

Voor de maatregelen *begrazen, houtige opslag verwijderen en bekalken* zijn in het normenboek geen kosten opgenomen. In een studie naar de kosten en baten van de Lüneburger Heide in Noordwest Duitsland zijn voor twee van deze maatregelen (begrazing met schapen en houtige opslag verwijderen) wel kosten opgenomen (Müller, 2004) Deze kosten zijn alleen niet zo scherp gespecificeerd als in het normenboek, maar zijn hier voor de volledigheid wel in beschouwing genomen.

Zo wordt er voor begrazing door schapen per hectare per jaar met een bedrag van € 171 gerekend. Wat voor soort begrazing het hier betreft wordt in het midden gelaten, het bedrag is een gemiddelde. Voor het verwijderen van houtige opslag wordt er gerekend met een bedrag van € 500 per hectare (Müller, 2004). Alleen het bekalken van heide blijft over, maar omdat hier geen kosten van bekend zijn, zal dit in dit onderzoek buiten beschouwing worden gelaten.

3.2.3 N-afvoer

De hoeveelheid beschikbare stikstof, uitgedrukt in de N-beschikbaarheid, wordt bepaald door de N-depositie en het beheer. Voor natte heide geldt verder dat het grondwater (kweldruk en kweltype) bepalend is. Bovendien bevat natte heide meer stikstof dan droge heide en heeft de kwelkwaliteit invloed op de beschikbare hoeveelheid. Vooral zoute kwel leidt tot een relatief grote hoeveelheid stikstof.

Als de verschillen tussen de N-beschikbaarheden bij de verschillende beheermaatregelen in de studie "Gevoeligheidsanalyse Natuurplanner" (Van der Hoek & Heuberger, 2006) bekeken worden, kan bepaald worden hoeveel stikstof er *gemiddeld per jaar* afgevoerd wordt door de maatregelen plagen (om de 30 jaar), maaien (1 tot 4 keer per jaar) en begrazen (Van der Hoek & Heuberger, 2006). De hoeveelheid beschikbare stikstof na het toepassen van deze maatregelen dient dan afgetrokken te worden van de hoeveelheid beschikbare stikstof als er geen beheer toegepast wordt. Zodoende krijg je de waarden die in Tabel 1 staan weergegeven.

Uit Tabel 1 blijkt dat door middel van plagen de meeste nutriënten worden afgevoerd. Verder is de beschikbare hoeveelheid direct na het plagen minimaal, te weten 100

mol per ha in droge heide en 300 mol per hectare in natte heide. In 2007 was de jaarlijkse N-depositie in Nederland 2190 mol per hectare, wat betekent dat deze hoeveelheid stikstof in ieder geval jaarlijks in de bodem terecht komt (Planbureau voor de Leefomgeving, 2008). Na het plaggen zal de hoeveelheid nutriënten in de bodem dus gestaag stijgen, totdat er weer een vorm van beheer toegepast wordt.

De N-afvoer kan ook uitgedrukt worden in kilogram per ha. Om de hoeveelheden in mol per hectare om te rekenen in kilo's dient er eerst vermenigvuldigd te worden met de factor 14,0067 (Dayah, 2009). Hierdoor krijg je de hoeveelheid stikstof in grammen, dus delen door 1000 geeft vervolgens de kilo's per hectare. Na het op deze wijze omrekenen van de N-afvoer krijg je de volgende hoeveelheden.

Tabel 3: N-afvoer in kilo's per hectare

| | Plaggen | Maaien | Begrazen |
|--------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Droge heide | 44,82 kg/ha/j | 32,22 kg/ha/j | 1,40 kg/ha/j |
| Natte heide | 58,83 kg/ha/j | 16,81 kg/ha/j | 5,60 kg/ha/j |

3.2.4 Biomassa

De productie van biomassa (uitgedrukt in ton per hectare per jaar) wordt bepaald door de toegepaste vorm(en) van beheer en de N-depositie. Net als bij de N-afvoer geldt voor natte heide dat het grondwater ook bepalend is. Bovendien zorgt de aanwezigheid van kwel voor een hogere biomassa met extreem hoge maximale waarden.

Gemiddeld gezien is de biomassa productie het laagste als heide gemaaid wordt. Dit komt doordat er minimaal één keer per jaar gemaaid wordt, wat de biomassa productie beperkt. Bij plaggen verandert de biomassa, net als bij maaien, continu. Direct na het plaggen is de biomassa productie het laagste, doordat de heidevegetatie zich helemaal opnieuw moet ontwikkelen. Als een heidegebied alleen begrazen wordt zal de biomassa ten opzichte van de andere beheermaatregelen het hoogste zijn. Dit komt doordat grazers geen biomassa (en dus weinig tot geen nutriënten) afvoeren.

De totale biomassa neemt jaarlijks toe, wat duidt op het successiepatroon van heide. Om te voorkomen dat de heide verandert in een eiken-berkenbos moet de heide beheert worden via zogenaamde intensieve en extensieve beheermaatregelen. Plaggen is een voorbeeld van een intensieve maatregel, die toegepast kan worden om eens in de zoveel tijd veel biomassa te verwijderen. Met het toepassen van maaien en/of begrazen kan het ontwikkelen van een climaxvegetatie niet voorkomen worden (Van der Hoek & Heuberger, 2006).

Met behulp van de biomassa productie zonder de toepassing van beheer en de gegevens over de biomassa productie na plaggen, maaien en begrazen, kan de biomassa reductie berekend worden. Deze reducties worden weergegeven in onderstaande tabel. Wat opvalt is dat door begrazen de biomassa juist toeneemt, terwijl dit bij plaggen en maaien afneemt.

Tabel 4: Biomassa reductie in ton/ha/j

| | Droog | Nat |
|-------------------------|--------------|------------|
| Productie zonder beheer | 31,19 | 32,56 |
| Reductie door plaggen | 13,57 | 9,47 |

| | | |
|------------------------|-------|-------|
| Reductie door maaien | 24,93 | 23,25 |
| Reductie door begrazen | -0.88 | -2,41 |

3.2.5 pH

De pH, ofwel de zuurgraad van de bodem, is in droge heidegebieden afhankelijk van de S-depositie en de toegepaste beheervorm(en). De gemiddelde waarde van de pH is 3,65, waarbij maaien tot een relatief lage waarde leidt en begrazen tot een relatief hoge. Verder zal bij een toename in S-depositie de pH afnemen.

In natte heidegebieden heeft alleen het grondwater invloed op de pH-waarde. Hierbij geeft de afwezigheid van kwel een gemiddelde pH-waarde van 3,83 en de aanwezigheid van kwel een pH boven de 6,5. In de tabel hieronder staan de pH-waarden van natte heidevegetaties uitgesplitst naar kweltype.

Tabel 5: pH van natte heidevegetaties per kweltype

| | Gemiddeld | Minimum | Maximum |
|---------------|------------------|----------------|----------------|
| Geen | 3,83 | 3,14 | 6,57 |
| Ondiep | 6,7 | 3,48 | 6,96 |
| Diep | 6,92 | 3,18 | 7,25 |
| Brak | 7,04 | 3,2 | 7,26 |
| Zout | 7,12 | 3,38 | 7,43 |

Hoofdstuk 4: Een model ter analyse van de beheermaatregelen

De mogelijke beheermaatregelen, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk, verschillen in eigenschappen enerzijds op basis van de verschillen in de maatregelen zelf en anderzijds door het soort heidevegetatie (droog/nat) waarin ze worden toegepast. Om meer inzicht te verkrijgen in de afwegingen die ten grondslag liggen aan het kiezen van de meest kosteneffectieve (combinatie van) te gebruiken beheermaatregel(en) worden de maatregelen en bijbehorende eigenschappen in een model verwerkt. Dit model is geschreven in het programma GAMS, waarmee variabelen geoptimaliseerd kunnen worden. Het doel is onder andere maatregelen te beoordelen naar de verschillen in kosten en hoeveelheid afgevoerde stikstof. Dit gebeurt stapsgewijs, door eerst een basismodel te bouwen, vervolgens een ruimte-effect in te bouwen en tenslotte een tijdseffect erin te verwerken.

4.1 Afbakening van het model

Het algemene model, dat in GAMS *Beheer* is genoemd, bevat de beheermaatregelen plaggen, maaien en begrazen. Het is alleen geldig voor heidegebieden in Nederland, aangezien er voor de berekening van de gegevens voornamelijk gebruik is gemaakt van onderzoeken uitgevoerd in Nederland. Verder wordt er onderscheid gemaakt tussen droge en natte heidevegetaties. De kosten gelden voor het één keer uitvoeren van een maatregel, de overige gegevens zijn gemiddelden per jaar, tenzij anders vermeld. De maai-frequentie die is gebruikt om de effecten per jaar te berekenen ligt tussen de één en 4 keer per jaar (Van der Hoek & Heuberger, 2006). Hier gaan we er voor het gemak van uit dat je een hectare maar eens per jaar kan maaien. De plag-frequentie die is gebruikt voor het berekenen van de effecten per jaar is eens in de 30 jaar. In 4.2 en 4.3 kijken we telkens naar één jaar, in tegenstelling tot 4.4 waar een relatief kort tijdsbestek in beschouwing wordt genomen.

Natte heidevegetaties bevatten een grotere hoeveelheid biomassa dan droge heidevegetaties, waardoor in natte gebieden de hoeveelheid stikstof in de bodem standaard groter is dan in droge gebieden. Hierdoor is de stikstofafvoer, als gevolg van de toepassing van één van de beheermaatregelen, hoger in natte gebieden. Ook de pH is in natte heidevegetaties hoger dan in droge heidevegetaties. Echter, in de droge vegetaties heeft het beheer invloed op de pH en in de natte vegetaties niet.

In *Beheer* worden sets, parameters, scalars, variabelen en vergelijkingen onderscheiden. De verschillende maatregelen staan beschreven in een set, evenals de twee types heidevegetaties. De kwantitatieve gegevens uit de overzichtstabel onder 3.2.1 zijn in parameters genoteerd. Op basis van de sets en parameters zijn variabelen gecreëerd en vergelijkingen uitgeschreven.

4.2 Het basismodel

4.2.1 Introductie variabelen

In het basismodel wordt er uitgegaan van één hectare waarop beheer wordt toegepast. In de volgende tabel worden de variabelen waarmee in het basismodel gewerkt wordt weergegeven.

Tabel 6: Variabelen in het basismodel

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|-------------------------|-----------|--------------|
| v_Areaal | A_{hm} | Ha |
| v_Kosten | K | Euro |
| v_NreductieDroog | R_h | Mol per jaar |
| v_NreductieNat | | |
| v_BiomassaDroog | B_h | Ton per jaar |
| v_BiomassaNat | | |
| v_BiomassaReductieDroog | BR_h | Ton per jaar |
| v_BiomassaReductieNat | | |

Een kleine 'h' achter de afkorting van een variabele betekent dat de betreffende variabele wordt uitgesplitst naar heidetype, te weten droge en natte heide. Indien er een kleine 'm' achter een afkorting staat betekent dit dat de betreffende variabele wordt uitgesplitst naar de verschillende beheermaatregelen die in beschouwing worden genomen, te weten plaggen, maaien en begrazen.

De hoeveelheden stikstof die per maatregel afgevoerd worden, zijn berekend op basis van de hoeveelheid stikstof die in de bodem beschikbaar is, wanneer er geen beheermaatregelen worden toegepast. Voor droge heide is er uitgegaan van een N-beschikbaarheid van 9100 mol per hectare en voor natte heide van 11600 mol per hectare. De doelstelling van het model is een minimale reductie van 1500 mol stikstof voor het geval het natte heide betreft, evenals droge heide. Dit moet gebeuren tegen minimale kosten.

4.2.2 Vergelijkingen

Om te kunnen berekenen hoe deze doelstelling optimaal gerealiseerd kan worden zijn een aantal vergelijkingen ingevoerd. In deze vergelijkingen wordt gewerkt met de cijfers die in de parameters genoteerd staan. Voor een goed begrip van de werking van de vergelijkingen is het zinvol te weten welke parameters gehanteerd worden. Daarom hieronder allereerst een overzicht van de parameters. Net als bij de variabelen kan er een kleine 'h' en/of 'm' achter de afkortingen van de parameters staan.

Tabel 7: Parameters in het basismodel

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|-----------------|--------------|---------------------|
| p_Kosten | k_m | Euro's |
| p_ReductieDroog | ρ_{hm} | Mol per ha per jaar |
| p_ReductieNat | | |
| p_BiomassaDroog | β_{hm} | Ton per ha per jaar |
| p_BiomassaNat | | |

Ten eerste is er de kostenvergelijking, deze ziet er als volgt uit:

$$K = \sum_m \sum_h k_m A_m \quad (1)$$

De totale kosten voor heidebeheer worden dus bepaald door het bedrag dat een maatregel per hectare kost, en het aantal hectares waarop een maatregel wordt toegepast. Wanneer je dit sommeert voor alle drie de maatregelen en de heidetypes krijg je de totale kosten. De hoeveelheid afgevoerde stikstof in mol wordt vervolgens gegeven in een functie die op dezelfde manier werkt.

$$R_h = \sum_m \rho_{hm} A_m \quad \forall h \quad (2)$$

Er wordt hier vanuit gegaan dat er per maatregel en per heidetype een vaste hoeveelheid stikstof per hectare wordt afgevoerd. Vermenigvuldig dit met het aantal hectares per heidetype waarop een maatregel wordt toegepast en je kunt voor natte en droge heide de totaal gereduceerde hoeveelheid stikstof berekenen. Met beide bovenstaande vergelijkingen kan er al aan de doelstelling van het basismodel voldaan worden. Echter, met de uitkomsten van deze vergelijkingen kunnen er ook gegevens met betrekking tot de biomassa berekend worden. De biomassa productie per heidetype in ton per jaar na toepassing van één van de drie beheermaatregelen is gegeven (Van der Hoek & Heuberger, 2006). Zodra er dus berekend is welke maatregelen op hoeveel hectare droge en natte heide worden toegepast, kan de biomassa productie worden berekend.

$$B_h = \sum_m \beta_{hm} A_m \quad \forall h \quad (3)$$

Deze vergelijking geeft een sommatie van het aantal hectares per heidetype waarop een maatregel wordt toegepast en de hoeveelheid biomassa die wordt geproduceerd, weer. Tenslotte kan er een vergelijking geformuleerd worden van de biomassa reductie per jaar na toepassing van heidebeheer. De vergelijking hiervoor komt tot stand door de biomassa productie na toepassing van heidebeheer af te trekken van de oorspronkelijke biomassa productie, zoals deze zou zijn wanneer er geen maatregelen ten uitvoer worden gebracht. De oorspronkelijke biomassa productie wordt hier afgekort met λ_h . Sommeren over de reducties per toegepaste maatregel geeft de volgende vergelijking voor de totale biomassa reductie per heidetype.

$$BR_h = \sum_m (\lambda_h - \beta_{hm}) A_m \quad \forall h \quad (4)$$

Tot slot wordt de som van het totale areaal dat aan heidebeheer onderworpen wordt gegeven door onderstaande functie.

$$\sum_h A_m \leq 1 \quad \forall m \quad (5)$$

4.2.3 Resultaten

De doelfunctie van *Beheer* is de kostenfunctie. Deze dient geminimaliseerd te worden, gegeven de restrictie dat er ongeacht het soort heide minimaal 1500 mol stikstof moet worden afgevoerd. Op basis hiervan rekent GAMS het model door en worden de waarden van de variabelen berekend.

Tabel 8: Kosten en N afvoer in het basismodel

| | 1 ha droge heide | 1 ha natte heide |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Beheer | 10% plaggen 90% maaien | 10% plaggen 90% maaien |
| Kosten | € 784,50 | € 784,50 |
| N afvoer | 2390 mol 33,48 kilo | 1500 mol 21,01 kilo |
| €/mol | € 0,33 | € 0,52 |
| €/kilo | € 23,43 | € 37,34 |

De kosten dienen te worden geminimaliseerd en er moet op één hectare beheer worden toegepast. De stikstof afvoer verschilt echter wel afhankelijk van het feit of je deze ene hectare als natte of als droge heide beschouwt. In beide gevallen zijn de kosten minimaal als 10% van de hectare geplagd wordt en 90% gemaaid. Bij natte heide wordt er dan precies 1500 mol stikstof afgevoerd, bij droge heide is dit 2390 mol. Zoals in bovenstaande tabel te zien is komen de minimale totale kosten uit op € 784,50. De achterliggende berekening is $0.9 * 405 + 0.1 * 4200 = € 784,50$.

Tabel 9: Biomassa effecten bij optimale uitkomst van het basismodel

| | 1 ha droge heide | 1 ha natte heide |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Biomassa productie | 7,396 ton/ha/j | 10,688 ton/ha/j |
| Biomassa reductie | 23,794 ton/ha/j | 21,872 ton/ha/j |

Wat opvalt is dat, bij hetzelfde beheer, bij droge heide meer biomassa en meer stikstof afgevoerd wordt in vergelijking met natte heide. Natte heide bevat echter structureel meer stikstof dan de drogere heidevegetaties. Het verschil wordt hier veroorzaakt door het feit dat bij de optimale uitkomst 90% van de hectare gemaaid wordt, en maaien in droge heide meer stikstof afvoert dan maaien in natte heide. Maaien is namelijk effectiever in droge heidevegetaties, waardoor de biomassa reductie en de afvoer van stikstof hier groter is voor droge heide dan voor natte heide.

4.3 Ruimte-effect

4.3.1 Parameters en variabelen

Het basismodel van *Beheer* wordt nu uitgebreid, met als doel de effecten van verschillende grootten arealen droge en natte heide te bekijken. Allereerst wordt er in GAMS een tweede set gecreëerd, die de heidetypes droog en nat aanduidt. Hierdoor vallen de parameters en variabelen die in 4.2 nog apart genoemd werden voor droge en natte heide weg. Verder komt er een parameter bij die het areaal per heidetype weergeeft. Het overzicht van parameters en variabelen ziet er in dit ruimte gevoelige model als volgt uit.

Tabel 10: Parameters in het ruimte gevoelige model

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|-------------------------|------------------|---------------------|
| p_Kosten | k_m | Euro |
| p_Nreductie | ρ_{hm} | Mol per ha per jaar |
| p_BiomassaProductieGeen | λ_h | Ton per ha per jaar |
| p_BiomassaProductie | β_{hm} | Ton per ha per jaar |
| p_Areaal | δ_h | Ha |

Tabel 11: Variabelen in het ruimte gevoelige model

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|--------------------|------------------|----------------|
| v_Areaal | A_{hm} | Ha |
| v_Kosten | K | Euro |
| v_Nreductie | R_{hm} | Mol per jaar |
| v_Biomassa | B_h | Ton per jaar |
| v_BiomassaReductie | BR_h | Ton per jaar |
| v_TotaleNreductie | TR | Mol per jaar |

Wat opvalt is, dat naast het aggregeren van de parameters en variabelen voor natte en droge heide, een extra variabele ‘Totale stikstof reductie’ is gecreëerd. De variabele ‘Stikstof reductie’ wordt gebruikt om per maatregel en per heidetype de reductie te berekenen. Deze heeft nu dan ook de afkorting “ R_{hm} ” gekregen. Wanneer je echter een minimum aan de totale stikstof reductie wil geven heb je hiervoor een aparte variabele nodig, welke hier dus gegenereerd is.

4.3.2 Vergelijkingen

Hieronder een overzicht van de vergelijkingen. Er is te zien dat er slechts één vergelijking, nummer (2) is veranderd. Dit komt doordat er in het ruimte gevoelige model niet meer wordt gewerkt met een som van de reducties per heidetype, maar met een reductievariabele die elke combinatie van maatregel en heidetype aangeeft. De totale reductie is de som hiervan, die in een nieuwe vergelijking onder (6) staat genoteerd.

$$K = \sum_m \sum_h k_m A_{hm} \quad (1)$$

$$R_{hm} = \rho_{hm} A_{hm} \quad \forall hm \quad (2)$$

$$TR = \sum_m \sum_h R_{hm} \quad (3)$$

$$B_{hm} = \beta_{hm} A_{hm} \quad \forall hm \quad (4)$$

$$BR_{hm} = (\lambda_h - \beta_{hm}) \quad \forall hm \quad (5)$$

$$\sum_m A_{hm} \leq \delta_h \quad \forall h \quad (6)$$

4.3.3 Resultaten

De resultaten van dit ruimte gevoelige model hangen, net als bij het basismodel, af van de restricties die je invoert. Tot nu toe is hier bij dit tweede model nog niet over gesproken. In dit geval kan er een minimum ingevoerd worden voor de volgende variabelen:

- Totale N reductie
- Areaal; voor elke combinatie van maatregel en heidetype

Bij elkaar zijn dit zeven minima. Voor de combinatie ‘natte heide en begrazen’ is het areaal gelijkgesteld aan 0. Dit is gedaan, omdat begrazen in de praktijk niet geschikt wordt geacht voor natte heidegebieden en daarom nauwelijks wordt toegepast in natte heidevegetaties (Oosterbaan *et al.*, 2006). De totale stikstof reductie wordt voorlopig op 1500 mol in totaal per jaar gehouden. Dit is laag genoeg om deze restrictie voorlopig niet van invloed te laten zijn op de resultaten, zodat de invloed van verschillende hoeveelheden beheerde arealen geanalyseerd kan worden.

Van nu af aan wordt er gewerkt met zogenoemde beheerstrategieën. Deze omvatten verschillende grootten in beheerde arealen per heidetype en/of verschillende combinaties van beheermaatregelen. Dit wordt gedaan om de afwegingen die ten grondslag liggen aan het inzetten van de verschillende maatregelen op arealen droge en natte heide zichtbaar te maken. Hieronder volgen de modelresultaten voor 3

hoofdstrategieën, waarbij beheerstrategie 1 en 2 in een deel a en een deel b zijn gesplitst.

Beheerstrategie 1

Als eerste wordt het model doorgerkend voor een heidegebied waarbij minimaal 10 hectare beheert moet worden. Aangezien de doelfunctie van het model het minimaliseren van de kostenfunctie beschrijft, zal er ook maar op 10 hectare beheer worden toegepast. Hiervan bestaat 9 hectare uit een droge heidevegetatie en 1 hectare uit een natte heidevegetatie. De beheerstrategie bestaat onder andere uit kleinschalig plaggen, te weten 1 hectare droge heide en een halve hectare natte heide. Verder wordt er 3 hectare van de droge heide en de resterende halve hectare natte heide gemaaid. De overige 5 hectare droge heide wordt begrazen. De effecten van dit beheer staan in de onderstaande tabel

Tabel 12: Kosten en N afvoer van beheerstrategie 1a

| | 9 ha droge heide | 1 ha natte heide | Totaal |
|-----------------|--|-------------------------------|--|
| Beheer | 1 ha plaggen, 3 ha maaien, 5 ha begrazen | 0.5 ha plaggen, 0.5 ha maaien | 1.5 ha plaggen, 3.5 ha maaien, 5 ha begrazen |
| Kosten | € 6270 | € 2302,50 | € 8572,50 |
| N afvoer | 10600 mol 148,47 kilo | 2700 mol 37,82 kilo | 13300 mol 186,29 kilo |
| €/mol | € 0,59 | € 0,85 | € 0,64 |
| €/kilo | € 42,23 | € 60,88 | € 46,02 |

Op de beheerde hectares droge heide zorgt maaien relatief gezien voor de meeste stikstof afvoer. Voor natte heide is plaggen verantwoordelijk voor het grootste deel van de stikstof afvoer. Op basis van het gevoerde beheer kunnen de effecten op de biomassa berekend worden. Dit staat weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 13: Biomassa effecten van beheerstrategie 1a

| | 9 ha droge heide | 1 ha natte heide |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Biomassa productie | 196,75 ton/j | 16,2 ton/j |
| Biomassa reductie | 83,96 ton/j | 16,36 ton/j |

Nu wordt de verhouding tussen droge en natte heide in het gebied gewijzigd. We nemen aan dat een droge heidevegetatie ter grootte van 1 hectare beheert wordt en dat er 9 hectare natte heide aan beheer onderworpen wordt. Het beheer verandert nu iets, aangezien natte heide niet begrazen mag worden. Er wordt vanuit gegaan dat een zo soortgelijk mogelijk beheer voor droge heide bestaat uit het voor de helft plaggen en voor de helft maaien van de hectare. Van het areaal natte heide wordt er 1 hectare geplagd en 8 hectares gemaaid. Deze beheerstrategie noemen we voor het gemak 1b.

Tabel 14: Kosten en N afvoer van beheerstrategie 1b

| | 1 ha droge heide | 9 ha natte heide | Totaal |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beheer | 0.5 ha plaggen, 0.5 ha maaien | 1 ha plaggen, 8 ha maaien | 1.5 ha plaggen, 8.5 ha maaien |
| Kosten | € 2302,50 | € 7440 | € 9742,50 |
| N afvoer | 2750 mol 38,52 kilo | 13800 mol 193,29 kilo | 16550 mol 231,81 kilo |

| | | | |
|--------|---------|---------|---------|
| €/mol | € 0,84 | € 0,54 | € 0,59 |
| €/kilo | € 59,77 | € 38,50 | € 42,02 |

Tabel 15: Biomassa effecten van beheerstrategie 1b

| | 1 ha droge heide | 9 ha natte heide |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Biomassa productie | 11,94 ton/j | 97,57 ton/j |
| Biomassa reductie | 19,25 ton/j | 195,47 ton/j |

Bij het vergelijken van beheerstrategie 1a en 1b valt als eerste op dat 1b duurder is. Dit komt doordat begrazen de goedkoopste beheermaatregel is en dit niet gebeurt op natte heide. De percelen die bij strategie 1a begraasd worden, zijn bij 1b aan de te maaien percelen toegevoegd, waardoor de kosten oplopen. Verder valt op dat de stikstof afvoer bij 1b ook groter is. Dit komt door het feit dat het grote aandeel natte heide zorgt voor een grotere mogelijke afvoer van stikstof en door het feit dat begrazing niet wordt ingezet. Begrazen zorgt namelijk voor de minste afvoer en is als beheermaatregel ook niet bedoeld om nutriënten af te voeren.

Wat betreft de kosten per mol is te zien dat, bij hetzelfde beheer van 1 hectare droge en 1 hectare natte heide, het afvoeren van 1 mol stikstof bij natte heide 1 eurocent duurder is. Het verschil wordt anders als de hoeveelheden worden omgerekend in kilo's. Bij het beheer van de 9 hectare droge en de 9 hectare natte heide is te zien dat de afvoer van stikstof bij de natte heide goedkoper is. Dit komt doordat de kosten niet verschillen per heidetype, terwijl de afvoer bij natte heide wel groter is. Wat betreft kosteneffectiviteit komt natte heide er bij meerdere hectares dus beter vanaf dan droge heide.

De biomassa productie verschilt aanzienlijk bij strategie 1a en 1b. Ook dit wordt veroorzaakt door het feit dat begrazen bij 1b niet wordt ingezet, aangezien grazers niet zorgen voor een reductie van de biomassa, maar voor een vergroting hiervan. De reductie is bij natte heide, naar verwachting, groter dan bij droge heide.

Beheerstrategie 2

Bij beheerstrategie 2 vergroten we het beheerde heideareaal. Als eerste kijken we naar een heidegebied bestaande uit 120 hectare in totaal, waarvan de ene helft natte heide en de andere helft droge heide omvat. Van elk soort heide wordt 10 hectare geplagd en 50 hectare gemaaid. Deze beheerstrategie noemen we 2a en de effecten hiervan staan hieronder weergegeven.

Tabel 16: Kosten en N afvoer van beheerstrategie 2a

| | Droge heide | Natte heide | Totale areaal |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Beheer | 10 ha plaggen, 50 ha maaien | 10 ha plaggen, 50 ha maaien | 20 ha plaggen, 100 ha maaien |
| Kosten | € 62250 | € 62250 | € 124500 |
| N afvoer | 147000 mol 2058,98 kilo | 102000 mol 1428,68 kilo | 249000 mol 3487,67 kilo |
| €/mol | € 0,42 | € 0,61 | € 0,50 |
| €/kilo | € 30,23 | € 43,57 | € 35,70 |

Tabel 17: Biomassa effecten van beheerstrategie 2a

| | Droge heide | Natte heide |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Biomassa productie | 489,2 ton/j | 696,4 ton/j |
| Biomassa reductie | 1382,2 ton/j | 1257,2 ton/j |

Vervolgens voegen we aan het heidegebied nog eens 60 hectare droge heide toe, die beheert worden door middel van begrazing. Het overige beheer blijft hetzelfde. Deze strategie noemen we 2b en de effecten hiervan zijn als volgt.

Tabel 18: Kosten en N afvoer van beheerstrategie 2b

| | Droge heide | Natte heide | Totale areaal |
|-----------------|---|--------------------------------|--|
| Beheer | 10 ha plaggen, 50 ha maaien, 60 ha begrazen | 10 ha plaggen, 50 ha maaien | 20 ha plaggen, 100 ha maaien, 60 ha begrazen |
| Kosten | € 72510 | € 62250 | € 134760 |
| N afvoer | 153000 mol 2143,03 kilo | 102000 mol 1428,68 kilo | 255000 mol 3571,71 kilo |
| €/mol | € 0,47 | € 0,61 | € 0,53 |
| €/kilo | € 33,84 | € 43,57 | € 37,73 |

Tabel 19: Biomassa effecten van beheerstrategie 2b

| | Droge heide | Natte heide |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Biomassa productie | 2413,4 ton/j | 696,4 ton/j |
| Biomassa reductie | 1329,4 ton/j | 1257,2 ton/j |

Bij strategie 2b is het areaal droge heide dus twee keer zo groot geworden. Het voor de helft laten begrazen hiervan heeft als effect dat de kosten per afgevoerde mol stikstof met 5 cent omhoog gaan. Verder valt het effect op de biomassa productie op. Terwijl de omvang van het areaal met 200 % stijgt, stijgt de biomassa productie van het gehele gebied droge heide met $(2413,4-489,2)/489,2 \cdot 100 = 393,3$ %. Zowel bij strategie 2a als bij 2b valt op dat het beheer van de percelen natte heide duurder is, gezien per mol en kilo stikstof. Dit komt voornamelijk door het feit dat het maaien van natte heide duurder is dan het maaien van droge heide (€ 0,34 mol/j tegenover € 0,18 mol/j).

Een conclusie die uit de strategieën 1 en 2 getrokken kan worden is dat naarmate het gedeelte van een heidegebied dat geplagd wordt, ten opzichte van het deel dat gemaaid wordt groter wordt, de kosten per eenheid afgevoerde stikstof toenemen. Ditzelfde gaat ook op voor begrazen. Verder zijn de verschillen wat betreft de kosteneffectiviteit groter tussen de maatregelen bij droge heide dan bij natte heide. De biomassa productie is hoger in natte heidevegetaties dan in droge heide vegetaties, tenzij je naar begrazen kijkt. De reductie van de hoeveelheid geproduceerde biomassa als gevolg van heidebeheer is echter in natte heidevegetaties groter, behalve voor maaien.

Beheerstrategie 3

De restrictie omtrent de minimale stikstofreductie was tot nu toe buiten spel gezet. Bij beheerstrategie 3 gaan we hier echter eisen aan stellen en worden de minima van het aantal beheerde percelen eerst tijdelijk op 0 gezet. Er wordt dus een heidegebied van onbekende grote en een onbekende verdeling tussen droge en natte heide in

beschouwing genomen. Allereerst wordt als doel gesteld dat er 15000 mol stikstof moet worden gereduceerd. *Beheer* geeft aan dat dit bij minimale kosten het meest optimaal gebeurt door het maaien van 6,52 hectare droge heide. De bijbehorende kosten zijn € 2641,30.

Als je de minimale stikstofreductie ophoogt naar 150000 zal het optimale beheer niet veranderen. Er zal in dit geval namelijk 65,22 hectare droge heide gemaaid worden tegen een kostenpost van € 26413,04. Ophogen naar 1500000 geeft als uitkomst een te maaien areaal droge heide van 652,17 hectare tegen een kostenpost ter hoogte van € 264130. Wat opvalt, is dat het vermenigvuldigen van de minimale reductie met een bepaalde factor leidt tot een optimale uitkomst die ook vermenigvuldigd wordt met dezelfde factor. Wanneer je geen eisen stelt aan het gebied en de te gebruiken beheermaatregelen, maar enkel aan de stikstofreductie, zal het maaien van een bepaald aantal hectare droge heide dus altijd de optimale uitkomst zijn.

De derde beheerstrategie is een strategie waaraan meer eisen worden gesteld dan aan degenen die tot nu toe beschreven zijn. Allereerst wordt er uitgegaan van een Nederlandse heidevegetatie met een totale omvang van 800 hectare. 500 hectare hiervan beslaat droge heide en 300 hectare beslaat natte heide. In totaal moet er 1 miljoen mol stikstof afgevoerd worden, wat neer komt op gemiddeld $1000000/800 = 1250$ mol per hectare. Verder worden de onderstaande eisen aan het beheer gesteld.

- Alle beheermaatregelen (behalve het begrazen van natte heide) moeten op minimaal 1 hectare worden toegepast.
- Minimaal 10 procent van het maximaal te maaien areaal, droog en nat, moet geplagd worden.
- Maximaal mag er 100 hectare gemaaid worden van beide heidetypes.

Het beheer dat onder deze voorwaarden de meest optimale uitkomst geeft staat hieronder beschreven.

Tabel 20: Kosten en N afvoer van beheerstrategie 3

| | Droge heide | Natte heide | Totaal |
|-----------------|--|--------------------------------------|---|
| Beheer | 10 ha plaggen, 100 ha maaien 1 ha begrazen | 147,119 ha plaggen, 100 ha maaien | 157,119 ha plaggen, 200 ha maaien, 1 ha begrazen |
| Kosten | € 82671 | € 658399,80 | € 741070,80 |
| N afvoer | 262100 mol 3671,16 kilo | 737900 mol 10335,54 kilo | 1000000 mol 14006,70 kilo |
| €/mol | € 0,32 | € 0,89 | € 0,74 |
| €/kilo | € 22,52 | € 63,70 | € 52,91 |

Tabel 21: Biomassa effecten van beheerstrategie 3

| | Droge heide | Natte heide |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Biomassa productie | 12967,18 ton/j | 6049,78 ton/j |
| Biomassa reductie | 2627,82 ton/j | 3718,22 ton/j |

Kijkend naar de arealen droge heide waarop beheer wordt toegepast, valt als eerste op dat er precies aan de restricties voldaan wordt. Slechts 1 hectare wordt begraasd,

precies 100 hectare wordt er gemaaid en 10 procent hiervan, 10 hectare dus in dit geval, wordt geplagd. De droge heide zorgt enkel voor een afvoer van stikstof die iets meer dan een kwart ($(262100/1000000)*100 = 26,2 \%$) van de minimale hoeveelheid af te voeren stikstof omvat. De kosten per mol en per kilo afgevoerde stikstof zijn het laagste van alle beschreven beheerstrategieën.

Wat betreft de natte heide wordt er meer beheer gevoerd, dan de restricties omtrent areaal voorschrijven. Dit komt doordat de vochtige heidevegetatie verantwoordelijk is voor ongeveer 75 procent van de stikstofreductie. Bijna de helft van de oppervlakte, 147,119 hectare, wordt geplagd. Plaggen in natte heide zorgt voor de grootste reductie per hectare van alle combinaties beheermaatregel-heidetype. Verder wordt 100 hectare van het natte gebied gemaaid.

Verder is het opvallend dat de biomassa productie, gemiddeld per hectare gezien, groter is voor droge heide dan voor natte heide. De productie per hectare voor droog en nat is respectievelijk 25,93 ton/j en 20,17 ton/j. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat een groter deel van de natte heide aan beheer wordt onderworpen. Hier bovenop komt nog eens dat het plaggen van de natte heide de overhand heeft in het beheer, wat relatief veel stikstof en biomassa afvoert.

In werkelijkheid zou deze beheerstrategie niet goed zijn om tegelijk in één jaar toe te passen. De kosten zijn dan misschien wel minimaal, maar de structuur van de heide zou aan dit beheer ten onder gaan. Zoals in hoofdstuk 3 aan de orde kwam, zijn zowel plaggen als maaien nadelig voor de structuur van de heide en moet de toepassing van deze maatregelen kleinschalig gebeuren. Beter is om het jaarrond begrazen van de gehele oppervlakte droge heide in te zetten, naast plaggen en maaien. Als je zoveel hectare wil plaggen als dat het model voor de natte heide aangeeft, kun je dit beter verdelen over meerdere jaren. Daarom is het nuttig te kijken naar een andere versie van *Beheer*, waarbij er meerdere achtereenvolgende jaren in beschouwing worden genomen en de stikstof reductie op een langere termijn gerealiseerd moet worden.

4.4 Tijdeffect

4.4.1 Parameters en variabelen

Het model wordt nu van ruimte gevoelig omgevormd naar een tijd gevoelig model. Er komt nu dus een dynamisch aspect aan te pas. We beschouwen een tijdsperiode van 11 jaar, beginnend in 2010 en eindigend in 2020. Hiervoor is een nieuwe set genaamd 'tijd' nodig en een subset die het eerste jaar van de tijdserie weergeeft. De parameters zijn niet afhankelijk van de tijd en zullen daarom niet veranderen. Wel komt er een nieuwe parameter bij, deze geeft de stikstofvoorraad per hectare voor de beide heidetypes aan. Ook wordt er een scalar ingevoerd, die de gemiddelde jaarlijkse depositie in Nederland in 2007 weergeeft. Deze depositie heeft een hoogte van 2190 mol per hectare (Planbureau voor de Leefomgeving, 2008). Hieronder het iets gewijzigde overzicht van parameters, inclusief de scalar.

Tabel 22: Parameters in het dynamische model

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| p_Kosten | k_m | Euro |
| p_Nreductie | ρ_{hm} | Mol per ha per jaar |
| p_BiomassaProductieGeen | λ_h | Ton per ha per jaar |

| | | |
|------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| p_BiomassaProductie | β_{hm} | Ton per ha per jaar |
| p_StikstofvoorraadEersteJaar | v_h | Mol per ha in 1 ^e jaar |
| p_Areaal | δ_h | Ha |
| sc_Depositie | μ | Mol per ha in 2007 |

De variabelen krijgen nu een nieuwe index erbij, naast de index(en) die ze al hadden. Alleen de variabele die de totale kosten van het gevoerde beheer weergeeft krijgt geen kleine ‘t’ achter de naam, aangezien de kosten onafhankelijk zijn van het jaartal. We gaan er dus vanuit dat de kosten, in de 11 jaar die in beschouwing worden genomen, niet veranderen. Onderstaand is het nieuwe overzicht van variabelen te zien.

Tabel 23: Variabelen in het dynamische model

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|--------------------|-----------|--------------|
| v_Areaal | A_{hmt} | Ha |
| v_Kosten | K | Euro |
| v_Nreductie | R_{hmt} | Mol per jaar |
| v_Biomassa | B_{ht} | Ton per jaar |
| v_BiomassaReductie | BR_{ht} | Ton per jaar |
| v_TotaleNreductie | TR_t | Mol per jaar |
| v_Stikstofvoorraad | S_{ht} | Mol per jaar |
| v_ReductieTijd | V_{ht} | Mol per jaar |

Er is te zien dat er twee nieuwe variabelen zijn ingevoerd, één voor de stikstofvoorraad per heidetype per jaar en één voor de reductie per heidetype per jaar.

4.4.2 Vergelijkingen

Aangezien de variabelen zijn aangepast aan het dynamische aspect dat nu wordt ingevoerd, worden ook de vergelijkingen aangepast. Bovendien komen er drie nieuwe vergelijkingen bij, één voor jaarlijkse stikstofvoorraad per heidetype, één voor de stikstofvoorraad per heidetype in het eerste jaar (deze geeft de startwaarde voor de reeks met jaarlijkse voorraden) en één voor de reductie per heidetype per jaar. De eerste zes vergelijkingen hieronder komen overeen met die in het ruimte gevoelige model, met de aanpassing dat de index ‘tijd’ erin is verwerkt.

$$K = \sum_m \sum_h \sum_t k_m A_{hmt} \quad (1)$$

$$R_{hmt} = \rho_{hm} A_{hmt} \quad \forall hmt \quad (2)$$

$$TR = \sum_m \sum_h R_{hmt} \quad (3)$$

$$B_{hmt} = \beta_{hm} A_{hmt} \quad \forall hmt \quad (4)$$

$$BR_{hmt} = (\lambda_h - \beta_{hm}) A_{hmt} \quad \forall hmt \quad (5)$$

$$\sum_m A_{hmt} \leq \delta_h \quad \forall h \quad (6)$$

$$V_{ht} = \sum_m \rho_{hm} A_{hmt} \quad \forall h \quad (7)$$

$$S_{ht} = S_{h,t-1} - V_{ht} + \mu \delta_h \quad \forall h \quad (8)$$

$$S_{h,2010} = v_h \delta_h - V_{ht} + \mu \delta_h \quad \forall h \quad (9)$$

Er zijn dus twee vergelijkingen voor de stikstofvoorraad. Vergelijking (8) geldt niet voor het jaar 2010, aangezien dit een recursieve vergelijking is en deze dus een waarde uit een voorgaande tijdsperiode nodig heeft. Daarom is het jaar 2010 apart gespecificeerd, op basis van de omvang van de stikstofvoorraad zoals deze is voordat er beheer wordt toegepast. Voor elk ander jaar in het tijdsbestek geldt dus dat de voorraad stikstof in de bodem gelijk is aan de voorraad in het jaar ervoor, min de reductie in dat jaar plus de depositie in dat jaar.

4.4.3 Resultaten

In het dynamische model mogen doelstellingen over een langere termijn gerealiseerd worden. De restrictie omtrent de totale reductie die tot nu toe werd gebruikt, wordt buiten werking gesteld. Er worden eisen gesteld aan de stikstofvoorraad aan het einde van de tijdsperiode, zodat er op een kleinschaligere manier gereduceerd kan worden en de structuur van de heide niet wordt afgebroken door de nutriëntendoelstelling. De combinatie 'natte heide en begrazen' blijft vaststaan op 0 hectare en net als in het ruimte gevoelige model worden er verschillende beheerstrategieën bekeken.

Beheerstrategie A

We beschouwen een heidegebied met een omvang van 5 hectare, waarvan 3 hectare droge heide betreft en 2 hectare natte heide. De enige restrictie die wordt ingesteld is dat beide soorten heidevegetaties in 2020 maximaal 12000 mol stikstof mogen bevatten. Voor de droge heide is dit dus $12000/3 = 4000$ mol per hectare en voor de natte heide $12000/2 = 6000$ mol per hectare.

De minimale kosten waartegen dit gerealiseerd kan worden bedragen € 113205. Er wordt dan beheer toegepast in alle 11 de jaren en ook alle hectares worden dan beheerd. Voor droge en natte heide geldt dat, met uitzondering van één jaar, er of gemaaid of geplagd wordt. In de onderstaande tabel is de exacte uitkomst van het optimale beheer weergegeven.

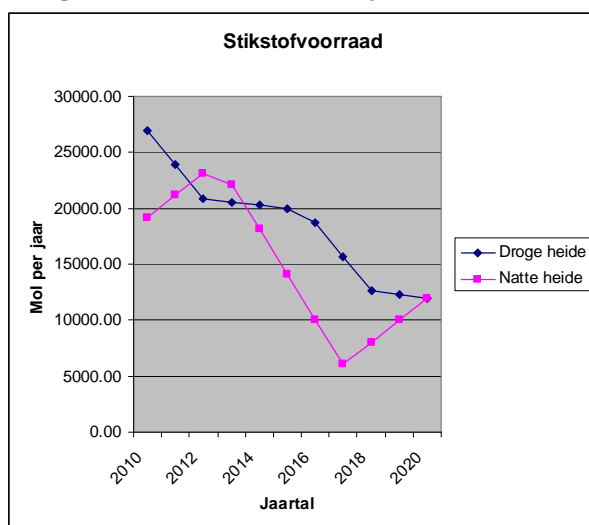
Tabel 24: Optimale beheer bij beheerstrategie A

| Ahmt | Droge heide | Natte heide |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 2010 | 3 ha maaien | 2 ha plaggen |
| 2011 | 3 ha plaggen | 2 ha maaien |
| 2012 | 3 ha plaggen | 2 ha maaien |
| 2013 | 3 ha maaien | 0.993 ha plaggen, 1.007 ha maaien |
| 2014 | 3 ha maaien | 2 ha plaggen |
| 2015 | 3 ha maaien | 2 ha plaggen |
| 2016 | 0.967 ha plaggen, 2.033 ha maaien | 2 ha plaggen |
| 2017 | 3 ha plaggen | 2 ha plaggen |
| 2018 | 3 ha plaggen | 2 ha maaien |
| 2019 | 3 ha maaien | 2 ha maaien |
| 2020 | 3 ha maaien | 2 ha maaien |

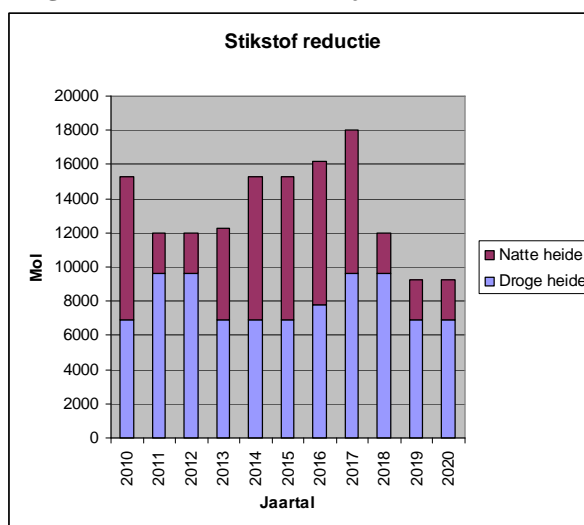
De afwijkende jaartallen 2016 en 2013 voor respectievelijk droge en natte heide zorgen ervoor dat de stikstofvoorraad uiteindelijk exact 12000 mol per heidetype zal zijn. In figuur 4.20 is het verloop van de stikstofvoorraad in het gebied in kaart gebracht. Wat opvalt is dat de lijn die de veranderingen in de natte heide laat zien, eerst gedurende twee jaar stijgt en vervolgens daalt tot een minimum. Vervolgens

stijgt de stikstofvoorraad gestaag tot 12000 mol. De voorraad in het deel met droge heide daalt elk jaar, alleen de mate van daling verschilt. In het midden van de tijdsperiode lijkt de daling te stagneren, dit is echter slechts tijdelijk.

Figuur 1: Stikstofvoorraad bij A



Figuur 2: Stikstof reductie bij A



In figuur 4.21 zijn de reducties per jaar en per heidetype te zien, deze zijn, nadat de depositie hiervan is afgetrokken, verantwoordelijk voor de veranderingen in de lijnen van 4.21. Vooral voor natte heide is het verband goed te zien in de laatste jaren, aangezien de reductie daarin relatief laag is en daardoor dus wordt overtroffen door de depositie. In de totale reductie is een bergparabool te zien, wanneer je niet naar het eerste jaar kijkt. Er is te zien dat de totale stikstof reductie in 2017 het grootst is, waarbij het aandeel van droge en natte heide ongeveer even groot is.

Beheerstrategie B

De restrictie die bij de voorgaande beheerstrategie aan de stikstofvoorraad is gegeven is erg los, in werkelijkheid zou de heide nog steeds aan vergrassing te leiden hebben bij 4000 of 6000 mol per hectare. De kritische depositie, dat wil zeggen de depositie waarbij verlies van soorten in een heidegebied optreedt, ligt tussen de 10-20 kilo per hectare per jaar (Van Veen *et al.*, 2004). In mol is dit 714-1428 mol per hectare per jaar. Wanneer we de restrictie omtrent de stikstofvoorraad aan het gemiddelde hiervan verbinden, 1071 mol, zal er aanzienlijk meer gereduceerd moeten worden. Voor droge heide wordt dit dus $3 \cdot 1071 = 3213$ mol in 2020 en voor natte heide $2 \cdot 1071 = 2142$ mol in 2020.

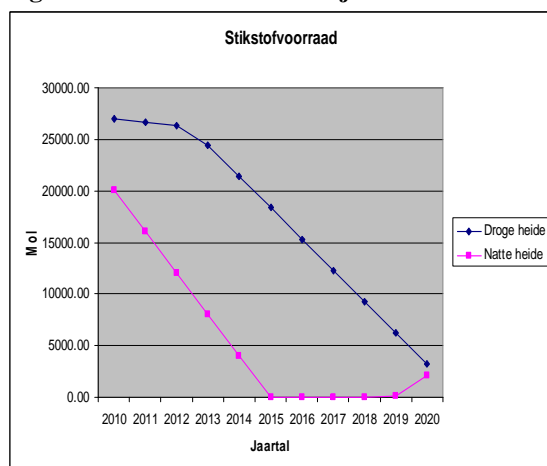
De minimale kosten waartegen beheerstrategie B gerealiseerd kan worden bedragen € 162730. Dit is duurder dan de vorige strategie, maar er worden ook meer nutriënten afgevoerd in dit geval. Weer wordt er in alle 11 de jaren beheer toegepast op alle vijf hectares in het gebied. Voor droge heide is dit, op het jaar 2013 na, altijd maaien of plaggen. Bij de natte heide varieert het beheer wat meer, vooral in het eerste jaar en in de periode 2016-2019. Hieronder staat het optimale beheer exact weergegeven.

Tabel 25: Optimale beheer bij beheerstrategie B

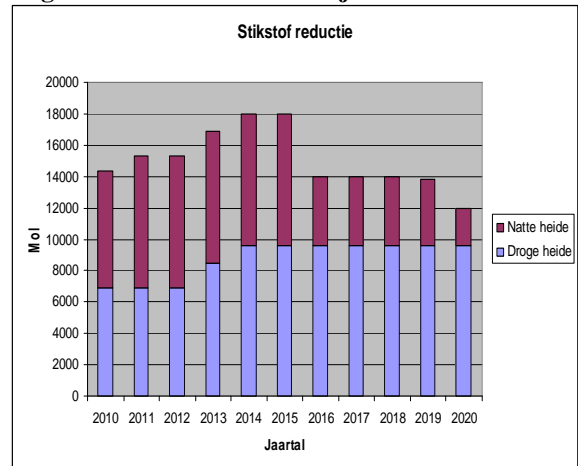
| Ahmt | Droge heide | Natte heide |
|------|-------------|-----------------------------------|
| 2010 | 3 ha maaien | 1.693 ha plaggen, 0.307 ha maaien |
| 2011 | 3 ha maaien | 2 ha plaggen |

| | | |
|------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 2012 | 3 ha maaien | 2 ha plaggen |
| 2013 | 1.27 ha maaien, 1.73 ha plaggen | 2 ha plaggen |
| 2014 | 3 ha plaggen | 2 ha plaggen |
| 2015 | 3 ha plaggen | 2 ha plaggen |
| 2016 | 3 ha plaggen | 0.66 ha plaggen, 1.340 ha maaien |
| 2017 | 3 ha plaggen | 0.66 ha plaggen, 1.340 ha maaien |
| 2018 | 3 ha plaggen | 0.66 ha plaggen, 1.340 ha maaien |
| 2019 | 3 ha plaggen | 0.606 ha plaggen, 1.394 ha maaien |
| 2020 | 3 ha plaggen | 2 ha maaien |

Figuur 3: Stikstofvoorraad bij B



Figuur 4: Stikstofreductie bij B



De voorraad stikstof in de bodem neemt bij de droge heide elk jaar af. Gedurende de eerste vier jaar gaat dit relatief rustig, daarna daalt de stikstofvoorraad lineair tot het uiteindelijke maximum van 3213 mol over 3 hectares. De lijn die de situatie voor de natte heide weergeeft vertoont een totaal ander verloop. De hoeveelheid stikstof neemt af totdat deze 0 mol is in het jaar 2015, waarna deze 0 blijft tot en met het jaar 2018. Hierna klimt de stikstofvoorraad tot het maximum van 2142 voor de beide hectares samen. In de jaren dat de voorraad 0 is, is de depositie dus gelijk aan de afvoer die door reductie gerealiseerd wordt.

De stikstof reductie vertoont nu in zijn geheel een bergparabool. Wat opvalt is dat de reductie in de natte heide afneemt in de loop van de tijd, terwijl de reductie in droge heide eerst toeneemt en vervolgens op één niveau blijft. De afvoer van stikstof is maximaal in de jaren 2014 en 2015, in deze jaren worden alle hectares geplagd.

Hoofdstuk 5: Een toepassing van het model

In dit vijfde hoofdstuk worden twee heidegebieden in beschouwing genomen, die onderdeel uitmaken van een groter natuurgebied. De gebieden worden eerst kort geïntroduceerd, waarna het huidige beheer aan bod komt en de effecten hiervan op basis van het model *Beheer* in kaart worden gebracht. Tenslotte wordt bekeken hoe de stikstofreductie die het beheer tot gevolg heeft, met een ander, meer kosteneffectief beheer gerealiseerd kan worden. Het eerste gebied dat in acht genomen wordt is de Lüneburger Heide in Duitsland. Hier is namelijk een heidevegetatie van aanzienlijke omvang te vinden en de effecten van beheer zijn anders dan in Nederland, wat de kijk op heidebeheer verbreedt. Het andere gebied dat in beschouwing wordt genomen is het Dwingelderveld. Dit gebied kent een grote bekendheid in Nederland en is het grootste natte heidegebied van West-Europa.

5.1 De Lüneburger Heide

5.1.1 Het heidegebied

De Lüneburger Heide is een heidegebied in Noord-west Duitsland, in de buurt van Hamburg. Het totale natuurgebied omvat 23000 hectare, waarvan 3100 hectare uit heide bestaat. 58 % bestaat uit bos, 13 % uit heide, 13 % uit voormalig militair gebied, 11,5 % uit landbouw, 2 % uit moeras en 1,5 % uit bebouwing. Het is de bedoeling dat het vroegere militaire gebied voor het grootste deel naar een heidevegetatie wordt getransformeerd, waardoor het totale areaal dat heide in beslag zal nemen 4500 hectare wordt.

In 1922 is de Lüneburger Heide tot Nationaal Park benoemd. Net als in de Nederlandse heidegebieden was het probleem hier dat het traditionele landbouwsysteem dat de heide in stand hield in de 19^e eeuw werd afgeschaft. Wat er nu nog over is van het vroegere heidegebied is maar een klein deel van de heidevegetatie die Noord-west Duistland vroeger kende. Tegenwoordig leven er bijzondere en bedreigde diersoorten en trekt het gebied ongeveer 3 miljoen toeristen per jaar (Müller, 2004)

5.1.2 Beheer

Het huidige beheer is gebaseerd op de technieken uit het verleden en bestaat uit plaggen, maaien, chopperen, gecontroleerd branden in de winter en begrazen. Het begrazen gebeurt door een schapenras genaamd 'Heidschnucken', dat kenmerkend is voor de Lüneburger Heide (Müller, 2004). Hier worden drie van de maatregelen in beschouwing genomen, te weten maaien, branden en plaggen. Maaien en branden worden beschouwd als extensieve beheermaatregelen en plaggen als een intensieve. Bij plaggen wordt namelijk naast de bovengrondse biomassa ook de gehele organische laag verwijderd en een deel van de A-horizon. Voor branden geldt dat voornamelijk de bovengrondse biomassa en een deel van de organische laag beïnvloedt worden (Härdtle *et al.*, 2006).

In de volgende tabel zijn de kosten en effecten van de drie beheermaatregelen die we in beschouwing nemen, weergegeven.

Tabel 26: Kosten en effecten van beheer van de Lüneburger Heide

| | Kosten | Netto N-afvoer | €/kilo | Biomassa prod. | Biomassa red. |
|----------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|----------------------|
| Plaggen | € 3100 | 1716 kg/ha | € 1,81 | 0 kg/ha | 6500 kg/ha |
| Maaien | € 400 | 105,6 kg/ha | € 3,79 | 4750 kg/ha | 8250 kg/ha |
| Branden | € 355 | 99,9 kg/ha | € 3,56 | 3500 kg/ha | 8500 kg/ha |

Wat betreft de biomassa is alleen het effect op de bovengrondse biomassa in beschouwing genomen, aangezien de drie maatregelen hier allen effect op hebben en de resultaten daarom vergelijkbaar zijn. De biomassa productie is dus de productie van bovengrondse biomassa na toepassing van beheer en de biomassa reductie is de reductie van bovengrondse biomassa na beheer.

Wat betreft kosteneffectiviteit valt op dat de kosten per afgevoerde kilo stikstof bij plaggen het laagst zijn. Maaien is hier de duurste maatregel, in tegenstelling tot Nederland. Uit Van der Hoek & Heuberger (2006) blijkt dat in Nederland maaien per afgevoerde kilo stikstof het goedkoopste is. Kleinschalig plaggen daarentegen is in Nederland, gezien per hectare en gezien per afgevoerde kilo stikstof, het duurste. Branden wordt nauwelijks ingezet als beheermaatregel in de Nederlandse heidegebieden, terwijl dit in de Lüneburger Heide juist één van de belangrijkste maatregelen is. Voor branden moeten de weercondities in de winter wel geschikt zijn om succesvol te zijn, waardoor je gecontroleerd branden dus niet altijd zonder meer kan inzetten.

Het doel van het beheer van de Lüneburger Heide is het afvoeren van nutriënten, voornamelijk in de vorm van stikstof. Andere nutriënten die worden afgevoerd zijn calcium, kalium, magnesium en fosfor. Echter, ten opzichte van stikstof zijn de hoeveelheden zeer klein en daarom worden de resultaten van de metingen van deze andere nutriënten hier buiten beschouwing gelaten. De bedoeling is een zodanige hoeveelheid stikstof af te voeren dat er wordt gecompenseerd voor de hoeveelheid die door depositie in het gebied terecht komt. De jaarlijks gemiddelde depositie in het gebied is 22,8 kilo, wat overeenkomt met $(22,8 \cdot 1000) / 14,0067 = 1628$ mol per hectare per jaar (Härdtle *et al.*, 2006). Het uitvoeren van enkel extensieve maatregelen is niet voldoende gebleken om te compenseren voor de depositie en daarom bestaat het beheer altijd uit een combinatie van intensieve en extensieve beheermaatregelen (Niemeyer *et al.*, 2005).

5.1.3 Model Lüneburger Heide

In dit gebiedsspecifieke model wordt er gewerkt met parameters, variabelen en vergelijkingen die nagenoeg dezelfde naam hebben als in het algemene model voor Nederland. De gegevens die in de parameters staan zijn echter anders, dit zijn de cijfers die in tabel 26 staan. Onderstaand zijn de overzichten van parameters en variabelen te zien.

Tabel 27: Parameters in het model voor de Lüneburger Heide

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|----------------|------------------|---------------------|
| p_kosten | k_m | Euro per ha |
| p_reductie | ρ_m | Kilo per ha per TEP |
| p_BiomassaProd | β_m | Kilo per ha per TEP |
| p_BiomassaRed | η_m | Kilo per ha per TEP |

Tabel 28: Variabelen in het model voor de Lüneburger Heide

| Naam | Afkorting | Eenheid |
|------------------|-----------|--------------|
| v_Kosten | K | Euro |
| v_Areaal | A_m | Ha |
| v_Reductie | R_m | Kilo |
| v_TotaleReductie | TR | Kilo per TEP |
| v_BiomassaProd | B | Kilo per TEP |
| v_BiomassaRed | BR | Kilo per TEP |

Wat opvalt, is dat er gewerkt wordt met een eenheid die ‘TEP’ wordt genoemd. ‘TEP’ staat voor Theoretical Effective Period en is de netto output van stikstof gedeeld door de netto input van stikstof per jaar. De output van stikstof bestaat uit alle kilo’s stikstof die door een maatregel verwijderd worden en de input uit de jaarlijkse depositie (22,8 kilo per ha), verminderd met wat er weglekt per hectare. De ‘TEP’ geeft dus aan hoelang de depositie gecompenseerd wordt door het uitvoeren van een bepaalde beheermaatregel. Voor plaggen is deze periode het langste, namelijk 89,9 jaar. Voor maaien en branden is dit respectievelijk 5,0 en 5,1 jaar (Härdtle *et al.*, 2006).

Op basis van deze parameters en variabelen zijn een zestal vergelijkingen ingevoerd. De eerste is de kostenfunctie, wat tevens de doelfunctie is die geminimaliseerd dient te worden. Vervolgens komen de vergelijkingen voor de stikstofreductie en de biomassa productie. De vergelijking onder (6) geeft een maximum aan het beheerde areaal. De heidevegetatie omvat 3100 hectare en dus kan er op niet meer dan dit aantal hectare beheer worden toegepast.

$$K = \sum_m k_m A_m \quad (1)$$

$$R_m = \rho_m A_m \quad \forall m \quad (2)$$

$$TR = \sum_m R_m \quad (3)$$

$$B = \beta_m A_m \quad \forall m \quad (4)$$

$$BR = \eta_m A_m \quad \forall m \quad (5)$$

$$\sum_m A_m \leq 3100 \quad (6)$$

Uit Müller (2004) blijkt dat er een vast aantal hectare per jaar wordt onderworpen aan de beheermaatregelen. Zo wordt 10 hectare jaarlijks geplagd, 100 hectare jaarlijks gemaaid en 20 hectare jaarlijks gebrand. Het invoeren van deze arealen per maatregel als vaste waarde voor de areaal variabele geeft de volgende uitkomsten.

Tabel 29: Resultaten van het model voor de Lüneburger Heide

| | Plaggen | Maaien | Branden | Totaal |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| Beheer | 10 ha | 100 ha | 20 ha | 130 ha |
| Kosten | € 31000 | € 40000 | € 7100 | € 78100 |
| N afvoer | 17160 kilo | 10560 kilo | 1998 kilo | 29718 kilo |
| €/kilo | € 1,81 | € 3,79 | € 3,55 | € 2,63 |
| Biomassa reductie | 65000 kilo | 825000 kilo | 170000 kilo | 1060 ton |
| Biomassa productie | 0 kilo | 475000 kilo | 70000 kilo | 545 ton |

Er is te zien dat de drie maatregelen die hier in beschouwing worden genomen, bij elkaar € 78100 kosten. De meeste stikstof wordt afgevoerd door middel van plaggen en de meeste biomassa wordt gereduceerd door maaien. Tevens is de biomassa productie het hoogst op de hectares die gemaaid worden, voor en na het beheer. Vervolgens laten we de vaste waarden voor de arealen die onderworpen worden aan beheer, vallen. Als restrictie wordt er ingevoerd dat er 29718 kilo stikstof gereduceerd moet worden. Dit is de hoeveelheid stikstof die met het huidige jaarlijkse beheer wordt afgevoerd. Hieronder staan de resultaten die GAMS nu voor de Lüneburger Heide geeft.

Tabel 30: Resultaten Lüneburger Heide voor een N reductie van 29718 mol

| | Plaggen | Maaien | Branden | Totaal |
|---------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| Beheer | 17,32 ha | 0 ha | 0 ha | 17,318 ha |
| Kosten | € 53686,36 | € 0 | € 0 | €53686,36 |
| N afvoer | 29718 kilo | 0 kilo | 0 kilo | 29718 kilo |
| €/kilo | € 1,81 | € 0 | € 0 | € 1,81 |
| Biomassa reductie | 112570 kilo | 0 kilo | 0 kilo | 112,57 ton |
| Biomassa productie | 0 kilo | 0 kilo | 0 kilo | 0 kilo |

Wat betreft de kosten is het dus optimaal om enkel te plaggen om de hoeveelheid stikstof af te voeren. Het totale areaal waarop beheer wordt toegepast verminderd hiermee ook drastisch, van 130 hectare naar 17,32 hectare. Deze uitkomst was te verwachten, aangezien plaggen het goedkoopst is kijkend naar de kosten per kilo stikstof die wordt afgevoerd. Aangezien er verder geen restricties zijn ingevoerd zal de doelstelling van een reductie ter grootte van 29718 kilo gebeuren door middel van het plaggen van een bepaalde aantal hectares. De biomassa reductie is een stuk lager dan dat deze is bij het daadwerkelijke beheer, doordat er op minder hectares beheer wordt toegepast en maaien en branden meer bovengrondse biomassa reduceren dan plaggen. Op arealen die regelmatig geplagd worden, is er voor en na het toepassen van beheer relatief gezien het minste biomassa aanwezig.

5.2 Het Dwingelderveld

5.2.1 Het heidegebied

Het Dwingelderveld is een natuurgebied in Drenthe, dat sinds 1991 de status van Nationaal Park heeft (Nationaal Park Dwingelderveld, 2009). Het totale gebied omvat 3700 hectare, waarvan 50 % bestaat uit bos, 40 % uit heide en 10 % uit voormalige landbouwgronden. Het beheer is voor het grootste deel in handen van Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten. Slechts 500 hectare is in het bezit van particuliere grondeigenaren.

Het Dwingelderveld is het grootste en, ecologische gezien, belangrijkste natte heidegebied van West-Europa. Hoofddoel van het Nationaal Park is dan ook het behoud en de verdere ontwikkeling van de heide. De problemen die optreden hebben onder andere te maken met de waterhuishouding, veroorzaakt door de omliggende landbouwgronden. Op deze gronden wordt gepoogd water af te voeren door middel van gegraven slootjes, terwijl in het Dwingelderveld water van levensbelang is voor de kwaliteit van de vochtige heide. Andere problemen zijn de zure regen die neerslaat in het gebied en de intensieve recreatie (Encyclopedie Drenthe Online, 2009)

5.2.2 Beheer

De belangrijkste maatregel in het beheer is het kleinschalig plaggen. Elk jaar wordt een deel van de vergraste heide met een plagmachine bewerkt. Er grazen 2 schaapskuddes en enkele runderen op het Dwingelderveld, met als doel de vergrassing na het plaggen geen kans meer te geven (Nationaal Park Dwingelderveld, 2009) Ook maaien en branden worden ingezet als beheermaatregelen, waarbij branden alleen gebruikt wordt als de omstandigheden daar gunstig genoeg voor zijn (Encyclopedie Drenthe Online, 2009).

De effecten van dit beheer worden berekend op basis van de gegevens uit de studie van Van der Hoek & Heuberger (2006). Het betreft in dit gebied voornamelijk natte heide, dus worden enkel de effecten van natte heidevegetaties in beschouwing genomen. De beheermaatregelen die we in beschouwing nemen zijn (net als in hoofdstuk 4) plaggen, maaien en begrazen. Hieronder zijn de kosten en effecten hiervan in Nederland nogmaals te zien.

Tabel 31: Kosten en effecten van beheer Dwingelderveld

| | Kosten | N-afvoer | €/kilo | Biomassa prod. | Biomassa red. |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|----------------------|
| Plaggen | € 4200 | 4200 mol | € 1 | 23,09 ton/ha/j | 9,47 ton/ha/j |
| Maaïen | € 405 | 1200 mol | € 0,34 | 9,31 ton/ha/j | 23,25 ton/ha/j |
| Begrazen | € 171 | 400 mol | € 0,43 | 34,97 ton/ha/j | -2,41 ton/ha/j |

In het vorige hoofdstuk werd vermeld dat begrazen eigenlijk nauwelijks geschikt is voor natte heidevegetaties. In het Dwingelderveld wordt begrazing echter wel toegepast in het gehele heidegebied, op $0,4 \cdot 3700 = 1480$ hectare. We hebben dus te maken met het jaarlijks kleinschalig plaggen, zeg 10 hectare per jaar, en het begrazen van 1480 hectare. In wat voor mate maaien wordt toegepast is niet duidelijk en daarom zeggen we voor het gemak dat 10 % (148 ha) van de heide jaarlijks gemaaid wordt.

5.2.3 Model Dwingelderveld

Voor het modelleren van het heidebeheer op het Dwingelderveld wordt er gebruik gemaakt van de ruimte gevoelige versie van *Beheer*. Voor de droge heide wordt een maximum oppervlakte van 0 hectare ingesteld en voor natte heide een maximum ter grootte van 1638 hectare. Dit is de som van alle beheermaatregelen die worden toegepast en is hoger dan het totale areaal van het heidegebied. Er wordt vanuit gegaan dat alle hectares worden begraasd, dus ook de hectares die worden gemaaid en geplagd, en daarom is het maximum dat aan het areaal wordt gegeven groter dan de werkelijke omvang van het gebied.

De vaste waarde van 0 die stond ingesteld voor de combinatie 'begrazen-nat' wordt weggehaald. Als vaste waarden worden nu ingevoerd 10, 148 en 1480 voor respectievelijk het plaggen, maaien en begrazen van natte heide. Hieronder staan de uitkomsten van het model voor dit beheer.

Tabel 32: Resultaten van het model voor het Dwingelderveld

| | Plaggen | Maaïen | Begrazen | Totaal |
|-----------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Beheer | 10 ha | 148 ha | 1480 ha | 1638 ha |
| Kosten | € 42000 | € 59940 | € 253080 | € 355020 |
| N afvoer | 42000 mol | 177600 mol | 592000 mol | 811600 mol |

| | | | | |
|---------------------------|-------------|---------------|---------------|----------------|
| €/kilo | € 1 | € 0,34 | € 0,43 | € 0,44 |
| Biomassa reductie | 94,7 ton/j | 3441 ton/j | -3566,8 ton/j | -31,1 ton/j |
| Biomassa productie | 230,9 ton/j | 1377,88 ton/j | 51755,6 ton/j | 53364,38 ton/j |

De kosten voor het beheer worden voor ruim 70 procent ($253080/355020 \cdot 100$) bepaald door begrazing, wat ervoor zorgt de kosten per afgevoerde kilo stikstof in de buurt van de kosten per kilo bij begrazing liggen. Verder zorgt de begrazing van het gehele gebied ervoor dat de biomassa productie relatief hoog blijft. Het is zelfs zo dat de totale biomassa reductie negatief is, wat dus betekent dat de biomassa over het jaar gezien groeit.

Vervolgens laten we, net als bij de Lüneburger Heide, de vaste waarden voor het beheer vallen. De enige restrictie die wordt ingevoerd is dat er in totaal minimaal 811600 mol stikstofreductie gerealiseerd dient te worden. Dit is de totale hoeveelheid stikstof die met het huidige jaarlijkse beheer wordt afgevoerd. Hieronder staan de resultaten die GAMS nu voor het Dwingelderveld geeft.

Tabel 33: Resultaten Dwingelderveld voor een N reductie van 811600 mol

| | Plaggen | Maaien | Begrazen | Totaal |
|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Beheer | 0 ha | 676,33 ha | 0 ha | 676,33 ha |
| Kosten | € 0 | € 273910 | € 0 | € 273910 |
| N afvoer | 0 mol | 811600 mol | 0 mol | 811600 mol |
| €/kilo | € 0 | € 0,34 | € 0 | € 0,34 |
| Biomassa reductie | 0 ton/j | 15724,67 ton/j | 0 ton/j | 15724,67 ton/j |
| Biomassa productie | 0 ton/j | 6296,66 ton/j | 0 ton/j | 6296,66 ton/j |

Kijkend naar de kosten is het dus optimaal om alleen 676,33 hectare te maaien om de hoeveelheid stikstof af te voeren. Deze uitkomst was te verwachten, aangezien maaien het goedkoopste is per mol afgevoerde stikstof. Een zekere reductie doelstelling zal dus, zonder verdere eisen, altijd tegen minimale kosten gerealiseerd worden door het maaien van een bepaald aantal hectares. In vergelijking met het werkelijke beheer is het totale areaal waarop beheer wordt toegepast verminderd van 1638 hectare naar 676,33 hectare. De biomassa productie is nu aanzienlijk minder en de biomassa reductie aanzienlijk meer. Maaien zorgt namelijk voor een relatief hoge reductie van de biomassa (23,25 ton/ha/j), dus de totale biomassa reductie gaat van een beetje negatief naar een redelijk hoge, positieve waarde.

In de praktijk is het echter niet verstandig om dit optimale beheer ten uitvoer te brengen. Maaien zorgt net als plaggen voor een gedeeltelijke vernietiging van de structuur van de heide (hoe kleinschaliger deze maatregelen worden uitgevoerd, hoe kleiner dit effect is) en zorgt voor een eentonige vegetatie. Voor de kwaliteit van de heide, wat voor het Dwingelderveld een belangrijk punt van aandacht is, is het beter om jaarlijks bepaalde hectares aan plaggen en/of maaien (of zelfs branden) te onderwerpen en deze vervolgens te onderhouden door begrazing. Het doel is ook om eenmaal, nadat er geplagd of gemaaid is, de betreffende hectares de achtereenvolgende jaren enkel door middel van begrazing te beheren.

Hoofdstuk 6: Discussie en aanbevelingen

Als uitgangspunt van heidebeheer is in dit onderzoek het afvoeren van stikstof genomen. De kosten waren de doorslaggevende factor om te bepalen of een maatregel wel of niet geschikt was om uit te voeren. De kosten voor de verschillende beheermaatregelen zijn in Nederland nauwkeurig onderzocht en bekend. In de meeste studies worden deze kosten tegen de baten van een gebied afgewogen, zoals in Wijnen *et al.* (2002). Echter, het onderzoeken van de kwantitatieve effecten van het beheer op de heide zelf is minder algemeen. Hierdoor zijn er niet zoveel gegevens beschikbaar als men zou willen gebruiken bij het analyseren van het heidebeheer in het algemeen en/of in een bepaald gebied.

De meeste gegevens gelden voor een klein, specifiek gebied, in plaats van als algemene effecten van beheer. Voor Nederland is er één studie gevonden (Van der Hoek & Heuberger, 2006) waarin de effecten van plaggen, maaien en begrazen in droge en natte heide geanalyseerd worden. Hierdoor is het model *Beheer* niet volledig en is het in de praktijk, kosteneffectief gezien, wellicht optimaler om andere maatregelen of andere combinaties van maatregelen ten uitvoer te brengen. Het model beperkt zich dus maar tot een bepaald deel van het heidebeheer en kan dus vertekende uitkomsten geven. Daarentegen zijn maaien, plaggen en begrazen in de praktijk in Nederland wel de meest toegepaste maatregelen.

Verder is de enige doelstelling die hier in acht wordt genomen het reduceren van stikstof tegen zo laag mogelijke kosten. In werkelijkheid kent het heidebeheer meerdere doelstellingen en is het feitelijke beheer daarop aangepast. Daarom was het van tevoren al te verwachten dat *Beheer* als optimale beheermaatregelen andere uitkomsten zou geven dan de maatregelen die daadwerkelijk worden toegepast. Bij de afweging die wordt gemaakt bij het kiezen van beheermaatregelen worden ook de structuur van de heide en de verzuring van de bodem in beschouwing genomen.

Bij het dynamische model worden reductiedoelstellingen over meerdere jaren gerealiseerd. Hiertoe wordt er in alle jaren die in beschouwing worden genomen, en op alle hectares van het gebied, beheer toegepast. Dit beheer bestaat uit een afwisseling van plaggen en maaien. Echter, in de praktijk is het niet mogelijk om dezelfde arealen een aantal jaar achter elkaar aan plaggen te onderwerpen. Wanneer een hectare geplagd is moet de heidevegetatie eerst regenereren voordat er opnieuw geplagd of gemaaid kan worden.

Dit betekent dus dat het tijdsbestek dat in beschouwing wordt genomen te kort is om in de praktijk de gestelde reductiedoelstelling te realiseren. De geplagde en gemaaide hectares zouden tussen verschillende plag- en maai beurten door aan begrazing moeten worden onderworpen om de structuur van de heide niet verloren te laten gaan. Hierdoor worden de kosten echter niet geminimaliseerd en wordt er relatief weinig stikstof afgevoerd, waardoor dit kosteneffectief niet optimaal is. Bovendien zouden de gestelde doelstellingen dan niet gerealiseerd worden in de korte periode die in de dynamische versie van *Beheer* in beschouwing wordt genomen. Dus ofwel de reductiedoelstelling moet omlaag ofwel het tijdsbestek moet groter worden.

Bij het uitvoeren van verder onderzoek zouden er dus meer randvoorwaarden in acht moeten worden genomen. De plagfrequentie is over het algemeen eens in de 20-30

jaar en maaien gebeurt vaak jaarlijks of eens in de 4-5 jaar. Dit zou je mee moeten nemen in het modelleren van het heidebeheer, net als het feit dat heidegebieden, zeker in Nederland, in zijn geheel begrazen worden door schaapskuddes. Om een compleet beeld te krijgen zouden ook de additionele maatregelen, die geen directe invloed hebben op de stikstofafvoer, meegenomen moeten worden. Deze maatregelen kosten immers ook geld en hebben hun eigen invloed op de heidevegetatie.

In de verschillende modelversies van *Beheer* die in dit onderzoek gehanteerd zijn, is de doelfunctie telkens de kostenfunctie geweest. Dit hoeft natuurlijk niet altijd zo te zijn bij het analyseren van heidebeheer. Men zou bijvoorbeeld ook, gegeven de randvoorwaarden, de stikstofreductie kunnen maximaliseren. Stel dat je een bepaald budget ter beschikking hebt voor een heidevegetatie en een aantal doelstellingen wilt realiseren, dan zou je kunnen analyseren hoe dit het meest effectief kan gebeuren. Verder zou je eisen aan de biomassa kunnen stellen, ofwel aan de reductie of aan de maximale productie.

De pH-waarde is hier volledig buiten beschouwing gelaten, terwijl die wel degelijk invloed heeft op heidevegetaties. Een zeer zure bodem, vanaf pH-waardes van 3 en lager, heeft een negatieve invloed op de soortenrijkdom van heidevegetaties. Na plaggen kan extra verzuring optreden, waar rekening mee moet worden gehouden in het beheer wanneer regelmatig plaggen daar onderdeel van uitmaakt.

Waar bovendien ook nog rekening mee kan worden gehouden in het modelleren van heidebeheer, is de in- en uitstroom van stikstof vanaf aangrenzende landbouwgronden. Als er grote hoeveelheden kunstmest gebruikt worden op een direct aangrenzende akker kan dit voor extra instroom zorgen, wat tot extra vergrassing aan de randen van een heidegebied kan zorgen. Verder treedt er ook extra instroom van nutriënten op wanneer branden wordt ingezet als maatregel, aangezien er dan ook as vrij komt, wat weer zal neerslaan op het betreffende gebied.

Hoofdstuk 7: Conclusie

Het doel van dit onderzoek was het analyseren van de beheermaatregelen die tot verarming van heidegrond leiden. Met analyseren wordt allereerst bedoeld het beschrijven van de verschillende beheermaatregelen die er mogelijk zijn. Verder verstaan we hieronder het modelleren van de kwantitatieve effecten van het heidebeheer en het beschrijven hoe deze in de praktijk kunnen en worden toegepast.

De heidegebieden die we tegenwoordig nog in Noordwest Europa hebben, zijn maar een fractie van het gebied dat in de 19^e eeuw nog bedekt was met heide. De arealen die er nog over zijn worden actief onderhouden. Dit wordt gedaan om nutriënten, vooral in de vorm van stikstof, af te voeren zodat heideplanten niet worden weggeconcentreerd door allerlei grassoorten. De huidige stikstofdepositie vanuit de lucht en de uitstroom vanaf landbouwgronden maakt dat het heidebeheer hiervoor moet compenseren. Ook de stikstofaccumulatie, die sinds de afschaffing van het traditionele landbouwsysteem is opgetreden, wordt gepoogd een halt toe te roepen en te verminderen.

Om de afvoer van nutriënten te realiseren zijn er een aantal beheermaatregelen die uitgevoerd kunnen worden. De meest ingezette maatregelen in Nederland zijn plaggen, maaien en begrazen, waarbij begrazen relatief zeer weinig stikstof afvoert. Plaggen en maaien zijn erg effectief en pakken voornamelijk gunstig uit als deze kleinschalig worden toegepast. Verder is er nog de mogelijkheid tot chopperen. Dit is een maatregel die tussen plaggen en maaien inzit en gezien kan worden als ondiep plaggen of diep maaien. Branden is ook een geschikte maatregel om stikstof af te voeren, alleen vergt het gecontroleerd uitvoeren hiervan een grote kundigheid. Bovendien moeten de omstandigheden in de winter gunstig genoeg zijn om branden succesvol te laten zijn.

Naast de voorgenoemde maatregelen die direct invloed hebben op de afvoer van nutriënten uit een vegetatie zijn er nog een aantal additionele maatregelen. Zo kan na het maaien het betreffende areaal geveegd worden. Met een heideveegmachine wordt de strooisellaag tussen de heideplanten uit geveegd. Verder kan er houtige opslag verwijderd worden om verbossing van de heide te voorkomen. Tenslotte kan na het plaggen het zogenoemde bekalken worden toegepast. Na plaggen kan namelijk een ophoping van ammonium optreden, wat met bekalken bestreden wordt.

Zoals te verwachten is, lopen de kosten en effecten van de verschillende beheermaatregelen uiteen. Plaggen voert van alle maatregelen verreweg het meeste stikstof af, maar is in Nederland per afgevoerde mol stikstof ook relatief duur. Het maaien van een droge heidevegetatie is per afgevoerde mol stikstof het goedkoopste. Een natte heidevegetatie bevat over het algemeen de meeste biomassa en daardoor ook de meeste stikstof. Hierdoor voeren dezelfde beheermaatregelen per hectare meer stikstof af als ze worden toegepast in een natte heidevegetatie dan in een droge heidevegetatie, behalve wanneer het maaien betreft.

De kosten voor heidebeheer zijn niet afhankelijk van het feit of de maatregelen in droge of in natte heide worden toegepast. Behalve voor maaien zijn de kosten per afgevoerde mol stikstof daarom in een droge heidevegetatie hoger dan in een natte heidevegetatie. Naast het modelleren van de kosten en de stikstofafvoer zijn ook de

effecten op de biomassa productie per jaar doorgerekend. Het meest opvallend hierbij is dat begrazen niet zorgt voor een reductie van biomassa, maar voor een toename. Grazers zorgen voor een relatief lage afvoer van stikstof, maar doordat door begrazing plaatselijk de bodem wordt verrijkt zal de totale biomassa toenemen.

Op hectares die geplagd worden zal na toepassing van plaggen de minste biomassa aanwezig zijn. Na plaggen is namelijk de gehele bovengrondse laag verwijderd, waardoor de biomassa productie helemaal opnieuw op gang moet komen. Hoe langer er tussen verschillende plagbeurten inzit, hoe groter de hoeveelheid biomassa in die tijd kan groeien. Bij maaien is de biomassa productie gemiddeld gezien het laagste. Maaien wordt ten opzichte van plaggen frequenter toegepast waardoor de biomassa niet de kans krijgt aanzienlijk toe te nemen, wat bij plaggen wel gebeurt.

Wanneer, gezien over de tijd, de hoeveelheid stikstof met een bepaald getal verminderd moet worden, zal dit geheel gebeuren door middel van maaien en plaggen. Tenzij er aangegeven wordt dat een bepaalde hoeveelheid hectares minimaal begrazen moet worden, zal begrazing nooit bij de optimale oplossing voor beheer horen. De stikstofvoorraad zal in dit geval niet jaarlijks met een vaste hoeveelheid afnemen, maar een grillig verloop vertonen. In de meeste jaren wordt er of geplagd of gemaaid, en in de overblijvende jaren wordt er een combinatie van beide maatregelen uitgevoerd, wat ervoor zorgt dat er exact aan een reductiedoelstelling voldaan wordt.

In het buitenland wordt branden meer toegepast als beheermaatregel dan in Nederland. Op de Lüneburger Heide in Duitsland vormt het een speerpunt van het beheer, tezamen met maaien en plaggen. Hier is het beheer erop gericht precies te compenseren voor de stikstof input in het gebied. De kosten en stikstofreducties liggen anders dan in Nederland, waardoor plaggen daar per afgevoerde kilo stikstof het goedkoopste is en maaien het duurste. Als je dus tegen minimale kosten zoveel mogelijk nutriënten wilt afvoeren kun je dus enkel volstaan met het plaggen van een bepaald gebied. Echter is dit nadelig voor de structuur van de heide en daarom bestaat het beheer jaarlijks uit een combinatie van maatregelen, wat dus duurder is.

Een voorbeeld van een heidegebied dat in Nederland actief beheerd wordt, is het Dwingelderveld in Drenthe. Dit is het grootste aaneengesloten natte heidegebied van West-Europa en het beheer is er gericht op het behoud en het ontwikkelen van de heide. Kleinschalig plaggen vormt de belangrijkste maatregel die wordt toegepast. Jaarlijks wordt een aantal hectares geplagd en na plaggen wordt er door middel van begrazen zo lang mogelijk geprobeerd de geplagde arealen goed te onderhouden. Dit is vrij bijzonder, aangezien begrazen nauwelijks geschikt wordt geacht voor toepassing in een natte heidevegetatie. Maaien blijkt kosteneffectief gezien de meest gunstige maatregel om toe te passen, maar in werkelijkheid bestaat het beheer uit een combinatie van plaggen, maaien, begrazen en een klein beetje branden.

Dit brengt ons bij het afsluitende punt van deze discussie. De beheerstrategieën die kosteneffectief gezien het meest optimaal zijn, komen niet overeen met werkelijke beheerstrategieën die gehanteerd worden. Dit komt door de eenzijdige doelstelling van heidebeheer die hier in acht wordt genomen, namelijk het enkel afvoeren van nutriënten. Hierdoor geeft *Beheer* soms zelfs onmogelijke uitkomsten, zoals het meerdere jaren achter elkaar plaggen van dezelfde hectares heide. Dit dient dan ook in het achterhoofd gehouden te worden bij het bekijken van de modelresultaten.

Samenvatting

Heidelandschappen zijn halfnatuurlijke landschappen die tot de zandgronden behoren. Wanneer de heide niet beheerd wordt, zal deze langzaam verdwijnen door het overgaan naar volgende successiestadia. Heide heeft namelijk een arme grond nodig om op te kunnen overleven en daarom wordt er, sinds de afschaffing van het traditionele landbouwsysteem, beheer gevoerd om nutriënten uit heidevegetaties af te voeren. Er zijn een aantal beheermaatregelen die direct stikstof afvoeren, te weten: plaggen, maaien, chopperen, branden en begrazen. Begrazen zorgt relatief gezien echter voor weinig afvoer en een stijgende hoeveelheid biomassa in een heidevegetatie. Additionele maatregelen zijn het vegen van heide (alleen na maaien), houtige opslag verwijderen en bekalken, om een daling van de zuurgraad na plaggen te voorkomen.

Plaggen is de meest effectieve maatregel om stikstof af te voeren, maar is per afgevoerde eenheid stikstof ook relatief duur. Maaien is het meest kosteneffectief en heeft ook een minder nadelige invloed op de structuur van heide dan plaggen. Begrazen is meer geschikt om grassen tussen de heideplanten uit te eten en heeft een gunstige invloed op de structuur van heide. Het gecontroleerd afbranden van heide wordt in Nederland nauwelijks ingezet als beheermaatregel, maar is redelijk effectief wat betreft het afvoeren van nutriënten, alhoewel branden wel destructief kan zijn voor de aanwezige fauna.

Wanneer de beheermaatregelen plaggen, maaien en begrazen met een optimaliseringsmodel in kaart worden gebracht, blijkt dat bij een doelfunctie die de kosten minimaliseert, maaien altijd bij de optimale oplossing behoort. Om een beheer dat enkel uit maaien bestaat te voorkomen, kunnen er restricties gezet worden op de minimale stikstofreductie en/of het maximaal te maaien areaal. Bij het toepassen van een dergelijk optimaliseringsmodel op specifieke heidegebieden, zal het optimale beheer dat uit het model voortvloeit niet overeenkomen met het werkelijke beheer. Dit komt doordat het werkelijke beheer niet alleen gericht is op het afvoeren van nutriënten in de vorm van stikstof, maar ook andere doelen dient. Het afvoeren van nutriënten uit een heidevegetatie is één onderdeel van het verbeteren van de kwaliteit van een heidevegetatie.

Literatuurlijst

- Alterra, (2002) *Landschapstypologie*, <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl1005-Landschapstypologie.html?i=12-62>, laatst geraadpleegd op 19-06-09.
- Alterra, (2006) *Normenboek Natuur, Bos en Landschap 2006*, Alterra, Wageningen, ism Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, De Landschappen en de Unie van Bosgroepen.
- Dayah, M., (2009) *Periodiek Systeem der Elementen*, <http://www.dayah.com/periodic/>, laatst geraadpleegd op 18-06-09.
- De Smet, E., Goris, G., Keustermans, K., (2004) *Veldwerk Kesselse Heide*, PIME vzw, Lier, 96 p.
- Diemont, W.H. & Linthorst Homan, H.D.M., (1989) *Re-establishment of dominance by dwarf shrubs on grass heaths*, *Vegetatio* 85, Kluwer Academic Publishers, België, pp. 13-19.
- Encyclopedie Drenthe Online, (2009) *Dwingelderveld*, <http://www.encyclopediedrenthe.nl/Dwingelderveld>, laats geraadpleegd op 17-06-09.
- Härdtle, W., Niemeyer, M., Niemeyer, T., Assmann, T., Fottner, S., (2006) *Can management compensate for atmospheric nutrient deposition in heathland ecosystems?*, *Journal of Applied Ecology* 43, British Ecological Society, pp 759-769.
- Milieuloket, (2003) *Vermesting*, <http://www.milieuloket.nl/9292000/modules/vg1zexyk6000>, laatst geraadpleegd op 24-06-2009.
- Müller, J., (2004) *Cost-benefit ratio and empirical examination of the acceptance of heathland maintenance in the Lueneburg heath nature reserve*, *Journal of Environmental Planning and Management* 47:5, Routledge, pp 757-771.
- Nationaal Park Dwingelderveld, (2009) *Natuurbeheer*, <http://www.nationaalpark-dwingelderveld.nl/documents/beheer.xml?lang=nl>, laatst geraadpleegd op 17-06-09.
- Niemeyer, T., Niemeyer, M., Mohamed, A., Fottner, S., Härdtle, W., (2005) *Impact of prescribed burning on the nutrient balance of heathlands with particular reference to nitrogen and phosphorus*, *Applied vegetation science* 8, Opulus Press, Uppsala, pp 183-192.
- Oosterbaan, A., de Jong, J.J., van Raffe, J.K., (2006) *Kosteneffectiviteit van beheer van bos- en natuurterreinen; Een onderzoek naar de verhouding tussen kosten en effecten van verschillende maatregelpakketten voor het beheer van droge heide*, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1401, 58 p.

Planbureau voor de Leefomgeving, (2008) *Vermestende depositie 1981-2007*, <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0189-Vermestende-depositie.html?i=14-66>, laatst geraadpleegd op 18-06-09.

Stuijtzand, S., van Turnhout, C., Esselink, H., (2004) *Gevolgen van verzuring, vermesting en verdroging en invloed van herstelbeheer op heidefauna*, Expertisecentrum LNV, Bedrijfsuitgeverij, Ede, 297 p.

Van Dobben, H.F., Wamelink, G.W.W., Schouwenberg, E.P.A.G., Mol-Dijkstra, J.P., (2003) *Natuurdoelen in bossen en heide op arme, droge zandgrond onhaalbaar bij de huidige milieukwaliteit*, Nederlands Bosbouw Tijdschrift, pp 45-48.

Van der Hoek, D.C.J. & Heuberger, P.S.C., (2006) *Gevoeligheidsanalyse Natuurplanner: van complex tot simpel*, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 152 p.

Van Veen, M. P., van Tol, S., van Esbroek, M. L. P., Noordijk, E., de Knecht, B., van Hinsberg, A., (2004) *Milieu-indicatoren op basis van het Landelijk Meetnet Flora- en Milieu- en Natuurkwaliteit*, Wageningen, achtergronddocument bij Natuurbalans 2004.

Wijnen, W., Hofsink, H., Bos, E., van der Hamsvoort, C., de Savornin Lohman, L., (2002) *Baten en kosten van natuur: een regionale analyse van het Roerdal*, LEI, Den Haag, 93 p.