Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations

Rapport 449

Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang

September 2011

LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Herziene versie rapport 188

Uitgever
Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet http://www.livestockresearch.wur.nl

Redactie
Communication Services

Copyright
© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011
Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid
Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.

De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract
On the initiative of the department Groot Waterland of the Dutch Federation of Agricultural and Horticultural Organisation North Netherlands (LTO), research was done in the Zeevang polder on the practical application of submerged drains. By a more even course of the groundwater table, this way of drainage can limit waterlogging and land subsidence. The height of the ditchwater level is crucial for the desired effect.

Keywords
Submerged drains, peaty soil, drainage, groundwater table, level management, grass yield, land subsidence, economics.

Referaat
ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)
I.E. Hoving
J.J.H. van den Akker
M. Pleijter
K. van Houwelingen

Titel
Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang

Rapport 449

Samenvatting
Op initiatief van LTO-Noord-afdeling Groot Waterland is in polder Zeevang onderzoek gedaan naar de praktijktoepassing van onderwaterdrains. Door een vlakker grondwaterstandverloop kan deze vorm van drainage vernatting en maaivelddaling beperken. De hoogte van het slootpeil is cruciaal voor het gewenste effect

Trefwoorden
Onderwaterdrains, veen, drainage, grondwaterstand, peilbeheer, grasopbrengst, maaivelddaling, economie

LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 449

Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang

Hydraulic an Agricultural effects of applying 'submerged drains' in the Zeevang polder

I.E. Hoving
J.J.H. van den Akker
M. Pleijter
K. van Houwelingen

September 2011

Voorwoord

In navolging van onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld is in 2006 een project gestart op twee melkveebedrijven in de polder Zeevang (Noord-Holland) waarin de toepassing van onderwaterdrains is onderzocht. Onderwaterdrains worden toegepast ter verbetering van de landbouwkundige productieomstandigheden en ter vermindering van de maaivelddaling door veenafbraak. Op proefbedrijf Zegveld werd voor het eerst onderzoek gedaan naar de hydrologische en landbouwkundige effecten van onderwaterdrains (Hoving et al., 2008). Dit onderzoek vond plaats op een beperkte oppervlakte (proefveldniveau) met drains in de breedterichting van het perceel. Voor toepassing in de praktijk is dit niet haalbaar door de veel hogere aanlegkosten en het relatief grote aantal drainopeningen die men bij slootonderhoud gemakkelijk raakt. In polder Zeevang is zowel onderzoek uitgevoerd op proefveldniveau als onderzoek op praktijkschaal, waarbij de drains in de lengterichting van het perceel werden gelegd met een maximale lengte van 450 m.

Het onderzoek in polder Zeevang is tot stand gekomen op initiatief van LTO-Noord-afdeling Groot Waterland en gefinancierd door het Productschap Zuivel, Dienst Landelijk Gebied, provincie Noord-Holland en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
De landinrichtingscommissie heeft in de polder Zeevang twee melkveebedrijven aangedragen: het bedrijf van de familie Bakker in Kwadijk en het bedrijf van de familie Steenman te Hobrede. Het bedrijf Bakker had tot de aanleg van de drainage te maken met zeer hoge slootpeilen gelijk aan het boezempeil, dit in tegenstelling tot het bedrijf van Steenman dat al jaren onderbemaling toepaste. We danken de familie Bakker en de familie Steenman voor de prettige samenwerking.

Inmiddels is bij waterbeheerders en beleidsmakers in het westen van het land de term onderwaterdrains een bekend begrip geworden. Ik hoop dat met de resultaten van dit onderzoek de belangen van landbouw en maatschappij binnen het waterbeheer beter verenigbaar worden.

Dr. Ir. Bastiaan Meerburg
Afdelingshoofd Milieu

Samenvatting

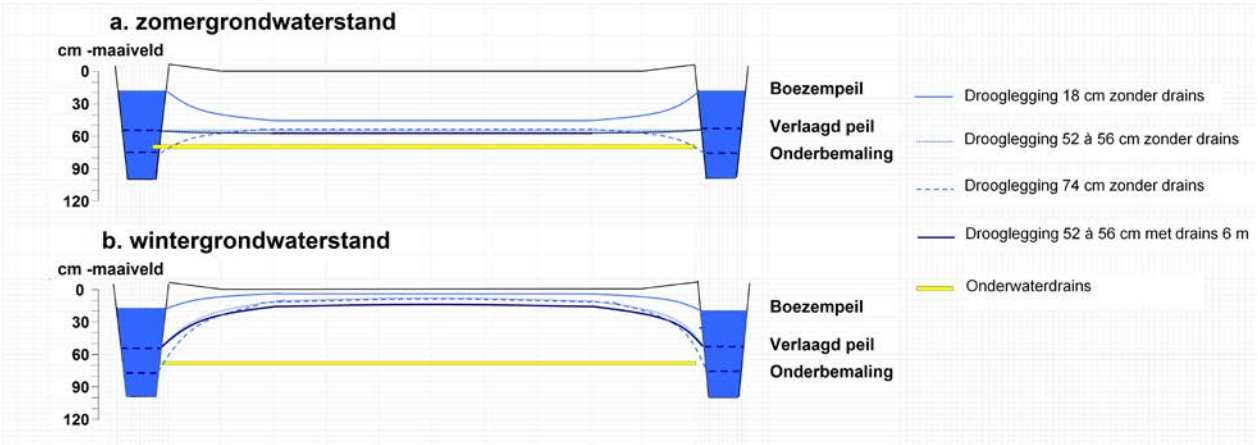
In polder Zeevang is in 2007 tot en met 2010 een praktijkexperiment uitgevoerd naar de toepassing van onderwaterdrains. Het doel was een veldexperiment op praktijkschaal naar het effect van onderwaterdrains op de zakking van veengrond en op de landbouwkundige productiemogelijkheden van grasland bij een slootpeil 60 cm –maaiveld (mv). In dit rapport ligt de nadruk op de invloed van onderwaterdrains op het verloop van de grondwaterstanden en op de grasproductie. Daarnaast is voor een modelbedrijf een bedrijfseconomische berekening uitgevoerd om het effect te kennen van onderwaterdrains op het bedrijfsresultaat.

De onderwaterdrains liggen onder het slootpeil en niet zoals gebruikelijk erboven. De hypothese is dat hierdoor de grondwaterstanden gedurende het jaar nivelleren: 's winters lager en 's zomers hoger. Dit levert een voordeel op voor zowel de boer (vermindering vernatting) als voor de maatschappij (vermindering maaivelddaling). Om de effectiviteit van onderwaterdrains te onderzoeken werd op praktijkcentrum Zegveld (2004–2007) een onderzoek uitgevoerd op proefveldniveau. De positieve resultaten van de eerste 2 jaar waren aanleiding om in polder Zeevang te onderzoeken hoe onderwaterdrains op praktijkschaal uit zouden pakken.

Veldonderzoek
Het onderzoek is uitgevoerd in polder Zeevang op de melkveebedrijven van de familie Bakker in Kwadijk en van de familie Steenman te Hobrede. Het bedrijf Bakker heeft, evenals veel omliggende bedrijven in Polder Zeevang, te maken met zeer hoge slootpeilen van minder dan 20 cm –mv. Hier werd het peil verlaagd tot 60 cm -mv, waarbij onderwaterdrains moesten zorgen voor compensatie van de extra maaivelddaling die hierdoor optreedt. Het bedrijf Steenman had daarentegen een onderbemaling van 80 cm –mv. Hier werd het peil verhoogd tot 60 cm -mv en onderwaterdrains toegepast om te zien of slootpeilverhoging negatieve consequenties heeft voor de bedrijfsvoering.

De hoofdbehandelingen bestonden uit drie verschillende slootpeilen: een boezempeil van minder dan 20 cm –mv, een slootpeil van 60 cm –mv en een onderbemaling van 78 cm –mv. Bij het peil van 60 cm –mv zijn onderwaterdrains toegepast op proefvakken in de breedterichting van het perceel (lengte 40 m) en op praktijkpercelen met een variatie in lengte, namelijk 120, 300 en 450 m. De draindiameter was 60 mm en de drainafstand was telkens ongeveer 6 m. Met peilbuizen werden op grote schaal tweewekelijks grondwaterstanden gemeten. Op de proefvakken (vier herhalingen) en de percelen met de oorspronkelijke peilen (twee herhalingen) werden per snede de grasopbrengsten bepaald (2007-2008) bij twee stikstofbemestingsniveaus, namelijk geen bemesting (N0) en praktijkbemesting (N1). De meetresultaten zijn statistisch getoetst. Voor de grondwaterstanden is als uitgangspunt genomen dat de grondwaterstand in grote lijn gedurende het jaar een cyclisch verloop heeft ('s zomers laag en 's winters hoog) en benaderd kan worden met een sinusoïde. De verschillen in modelparameters (amplitude, niveau en fase) tussen de behandelingen zijn getoetst. In figuur 1 zijn voor de verschillende behandelingen de hoogste en laagste gemiddelde gemodelleerde zomer– en wintergrondwaterstanden over de proefperiode van 2 jaar samengevat.

Figuur 1 Gemiddelde gemodelleerde zomer – en wintergrondwaterstanden bij verschillende drooglegginen en wel / geen onderwaterdrains (drainlengte 40 m) bij verlaagd peil (52 à 56 cm –maaiveld)



Peilverlaging (± 35 cm) op het bedrijf Bakker had een relatief beperkt verlagend effect op de grondwaterstanden en peilverhoging (± 17 cm) op het bedrijf Steenman had onverwacht ook een verlagend effect op de grondwaterstanden, doordat het betreffende referentieperceel relatief nat bleek te zijn. De onderwaterdrains hadden bij alle behandelingen (drainlengtes 40, 120, 300 en 450 m) een extra verlagend effect in het winterhalfjaar ten opzichte van peilverlaging.
De werking van de drains nam af met de drainlengte. Tot 300 m was nog sprake van een nivellering van de grondwaterstanden (vlakker grondwaterstandsverloop). Bij het gehanteerde slootpeil draineerden de onderwaterdrains beter dan dat ze infiltreerden.
Naar verwachting (niet gemeten) zakt bij een peil van 35 cm –mv en het toepassen van onderwaterdrains de zomergrondwaterstand weinig verder uit dan bij een hoog peil van 15 à 20 cm –mv zonder drains en stijgt de wintergrondwaterstand tot een vergelijkbaar niveau als bij een lager peil van 50 à 55 cm –mv zonder drains.

De totale droge stofopbrengst van gras werd niet of nauwelijks beïnvloed door de behandeling wel of geen drains. Wel was er een verlagend effect van drainage op de stikstofopbrengst van enkele kilo's. De meetperiode was echter te kort om goed zicht te krijgen op het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengsten en de stikstoflevering uit de bodem. Overigens lagen de resultaten betreffende het verschil in stikstofopbrengst wel in de lijn met de onderzoeksresultaten van het onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld (Hoving et al., 2008). Hier hadden onderwaterdrains een duidelijker verlagend effect op de drogestof- en stikstofopbrengst. Een lagere stikstofopbrengst betekent een verminderde stikstoflevering uit de bodem. Dit duidt op een vermindering van de veenafbraak. De maaiveldhoogte is jaarlijks gemeten, maar door de korte onderzoeksperiode kunnen we nog geen concrete uitspraken doen over het effect van onderwaterdrains op de maaivelddaling.

Economische bedrijfsberekening
Volgens de modelmatige economische bedrijfsberekening met Waterpas werden door het vergroten van de drooglegging van 20 naar 60 cm –mv de totale kosten met € 208,- per ha verlaagd. Een vergroting van 20 naar 80 cm –mv leverde een vergelijkbare kostenbesparing op van € 210,- per ha, maar de kosten kwamen wel anders tot stand. De voerkosten waren namelijk wat lager door een hogere zelfvoorziening van ruwvoer, maar de loonwerkkosten waren hoger door extra grasproductie. Het vergroten van de drooglegging naar 60 cm –mv in combinatie met het toepassen van onderwaterdrains leverde een kostenreductie op van € 82,- per ha, inclusief de jaarkosten voor onderwaterdrains ter grootte van € 165,- per ha. Exclusief de kosten voor onderwaterdrains zou de kostenbesparing € 247,- per ha bedragen. De zelfvoorziening voor ruwvoer was bij deze variant praktisch gelijk met die van de variant waarbij de drooglegging 80 cm –mv was, maar door een lager maaiaandeel werd een hogere kostenbesparing gerealiseerd. Tijdens natte perioden zijn bij toepassing van onderwaterdrains de beweidingsmogelijkheden namelijk net iets ruimer, waardoor de kostenbesparing groter is.

Praktijktoepassing
Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Dit is het geval bij relatief hoge slootpeilen tussen de 30 à 60 cm –mv. Bij hogere slootpeilen dan 30 cm –mv leiden onderwaterdrains niet tot een verbetering van de ontwatering door een te gering drukverschil tussen het (hoge) grondwaterniveau en het slootpeil. Bovendien is dan het risico op afvoer van nutriënten uit de wortelzone groot. Bij lagere peilen dan 60 cm –mv is de toegevoegde waarde van drains gering. Het aanleggen van onderwaterdrains en vraagt dus om maatwerk. De keuze van de drainafstand is iets minder kritisch dan de draindiepte. Een drainafstand van 6 m garandeert in de meeste gevallen een voldoende werking. De instelling van het slootpeil bepaalt het uiteindelijke drainerende en infiltrerende effect van de drains. Het op cruciale momenten (groot neerslagtekort of –overschot) meebewegen van slootpeilen met de grondwaterstanden moet voorkomen worden, omdat dit het drainerende en infiltrerende effect sterk vermindert. Tegengestelde bewegingen van het slootpeil door bijvoorbeeld toepassing van dynamisch peilbeheer kan de werking van de drains versterken. Ook verdient de lengte van de drains aandacht. Met een toename van de lengte van de buizen neemt de werking af. Tot 300 m buislengte hadden de drains een nivellerende werking. Bij langere percelen zouden de buizen halverwege een keer onderbroken moeten worden om ze kort te sluiten met de sloot.

Summary

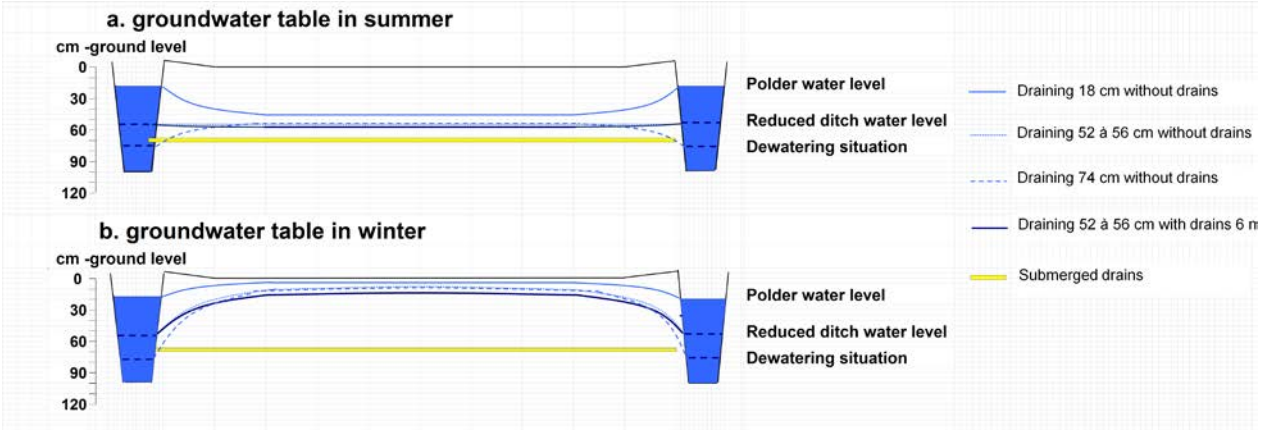
A practical experiment was carried out in the Zeevang polder in 2007 up to 2010 on the application of submerged drains. The purpose was a field experiment at a practical scale on the effect of submerged drains on peaty soil subsidence and on the agricultural production possibilities of grassland at a ditchwater level 60 cm – ground level (gl). This report emphasises the effect of submerged drains on the course of groundwater tables and grass production. Moreover, a farm-economic computerisation was done for a model farm to calculate the effect of submerged drains on farm performance.

The submerged drains are situated below the ditchwater level and not, as is usual, above. The hypothesis is that by this the groundwater tables are levelling up and down during the year: in winter lower and in summer higher. This is profitable to the farmer (less waterlogging) as well as to the society (reducing land subsidence). To study the effectiveness of submerged drains, research was done at the Applied Research Centre Zegveld (2004-2007) at sample plot level. The positive results of the first 2 years were the reason for investigating in what way the submerged drains would work at a practical level in the Zeevang polder.

Field study
The research was carried out in the Zeevang polder on dairy farms of the Bakker family in Kwadijk and the Steenman family at Hobrede. The Bakker farm has to deal with very high ditchwater levels of less than 20 cm - gl, as have many surrounding farms in the Zeevang polder. Here the level was reduced to 60 cm – gl, where submerged drains had to compensate for the resulting extra land subsidence. The Steenman farm had, on the other hand, a dewatering situation of 80 cm – gl. Here the table was increased to 60 cm – gl and submerged drains were applied to study whether increasing the ditchwater level had negative consequences for farming.

The main treatments included three different ditchwater levels: a water level in the drainage pool of less than 20 cm – gl, a ditchwater level of 60 cm – gl and a dewatering situation of 78 cm – gl. Submerged drains were applied on sample plots for the 60 cm – gl table in the cross-direction of the plot (length 40 m) and on practical plots with a variance in length, namely 120, 300 and 450 m. The drain diameter was 60 mm and the drain distance was approximately 6 m. The groundwater tables were measured at a large scale every other 2 weeks by level indicators. On the sample plots (four repeats) and the plots with the original water tables (two repeats), the grass yields were determined per cut with two levels of nitrogen application, namely no application (NO) and practical application (N1). The results were statistically screened. For the groundwater tables it was assumed that it follows a cyclical course to a large extent during the year (in summer low and in winter high) and that it can be approached by a sinusoid. The differences in model parameters (amplitude, level and phase) among the treatments were tested. Figure 1 summarises the average highest and lowest modelled summer and winter groundwater tables over the 2-year test period for the different treatments.

Figure 1
Average modelled groundwater tables for summer and winter for different drainings with or without submerged drains (drain length 40 m) at reduced water level (52 – 56 cm – ground level)



Level reduction (± 35 cm) on the Bakker farm had a relatively limited reducing effect on the groundwater tables. Level increase (± 17 cm) on the Steenman farm also had, unexpectedly, a reducing effect on the groundwater tables, because the reference plot concerned proved to be

relatively wet. The submerged drains had an extra reducing effect in all treatments (lengths of drains 40, 120 300 and 450 m) in winter in relation to level reduction.

The functioning of the drains decreased with the length of the drain. Until 300 m leveling of the groundwater tables could still be seen (more even course of groundwater table). The submerged drains performed drainage better than infiltration, applying a ditch water level of 55 cm - gl.
It is expected (but has not been measured) that at a level of 35 cm – gl and applying submerged drains, the groundwater table in summer will not increase more than at a high level of 15 – 20 cm – gl without drains and the groundwater table in winter will increase to a similar level as at a lower level of 55 cm – gl without drains.

The complete grass dry matter production was not or hardly affected by the treatment with or without drains. There was a decreasing effect of drainage on nitrogen production of some kilos, however. The measuring period was too brief to get a good insight into the effect of submerged drains on grass yield and nitrogen supply from the soil. Apart from that, the results concerning the difference in nitrogen production were in line with the research results of the Applied Research Centre Zegveld study (Hoving et al., 2008). In the latter study submerged drains proved to have a clearly decreasing effect on dry matter and nitrogen yield. A lower nitrogen yield means a reduced nitrogen supply from the soil, which suggests reduced soil degradation. The height of the ground level was measured each year, but due to the brief study period we cannot make statements as to the effect of submerged drains on land subsidence.

Farm-economic computation
According to the farm-economic model computation with Waterpas, total costs were reduced by € 208/ha by increasing the drainage from 20 to 60 cm – gl. An increase from 20 to 80 cm – gl produced a similar cost reduction of € 210/ha. The costs, however, came about in a different way. The feed costs were somewhat lower by a higher self-sufficiency rate of roughage, but the costs of hired labour were higher, due to extra grass production. An increase of drainage to 60 cm – gl in combination with applying submerged drains resulted in a cost reduction of € 82/ha, including the yearly costs of submerged drains of € 165/ha. Excluding the costs of submerged drains, cost reduction would be € 247/ha. The self-sufficiency rate of roughage in this variant was almost similar to the variant in which the drainage was 80 cm – gl. Due to a lower mowing percentage, however, cost reduction was higher, because during wet periods and applying submerged drains, the grazing possibilities are slightly more.

Practical application
An investment in drainage will only be appealing to farmers if the drainage improves considerably. This is the case with relatively high ditchwater levels of between 30 to 60 cm – gl. With ditchwater levels higher than 30 cm – gl, the submerged drains do not lead to an improvement of the drainage by too low a pressure difference between the (high) groundwater table and the ditchwater level. Moreover, the risk of removal of nutrients from the root zone is great. With lower levels than 60 cm – gl, the added value of drains is small. Constructing a system of submerged drains should be tailor-made. The choice of the drain distance is somewhat less critical than the depth of the drains. A drain distance of 6 m works well in most cases. The setting of the ditchwater level determines the eventual draining and infiltrating effect of the drains. Moving of the ditchwater levels along with groundwater tables at crucial moments (lack of precipitation or surplus) should be prevented, because this will decrease the draining and infiltrating effect considerably. Opposite movements of the ditchwater level by, for example, applying dynamic level management can intensify the functioning of the drains. Also the length of the drains needs attention. With an increase in drain length, the effect mitigates. Until 300 m of drain length the drains had a levelling effect. For longer plots the drains should be interrupted halfway in order to have them align with the ditch.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1 Inleiding 1

2 Materiaal en methoden 3

2.1 Bodemkarakteristiek polder Zeevang 3

2.2 Onderwaterdrains en relatie slootpeil - grondwaterstand 4

2.3 Proefopzet 4

2.4 Teelt en bemesting 6

2.5 Waarnemingen 6

2.6 Neerslag 7

2.7 Statistiek 8

2.7.1 Verloop grondwaterstanden 8

2.7.2 Grasopbrengst 9

3 Resultaten 11

3.1 Slootpeil en drooglegging percelen 11

3.2 Analyse modelparameters grondwaterstanden 11

3.3 Vergelijking gefitte modellen grondwaterstanden 12

3.4 Vergelijking gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden 14

3.5 Grasopbrengsten 18

4 Bedrijfseconomische berekening 21

4.1 Uitgangspunten bedrijfseconomische berekening 21

4.2 Resultaten 23

5 Discussie 27

5.1 Modellering grondwaterstanden 27

5.2 Effect onderwaterdrains op de grondwaterstand 27

5.3 Effect onderwaterdrains op de grasopbrengsten 30

5.4 Economische berekening 30

6 Conclusies 33

7 Praktijktoepassing 35

7.1 Betekenis voor de praktijk 35

7.2 Aanleg onderwaterdrains vraagt maatwerk 36

7.3 Sleufloos draineren 36

7.4 Kosten 37

Bijlagen 39

Bijlage 1 Samenvatting onderzoek Zegveld (2004-2007) 39

Bijlage 2 Proefveldschema's 41

Bijlage 3 Drogestof- en stikstofopbrengst gras 47

Bijlage 4 Botanische samenstelling 49

Bijlage 5 Modellen Waterpas 53

Bijlage 6 Gemodelleerde drukhoogtes SWAP 57

Bijlage 7 Technische en economische resultaten bedrijfsberekeningen 59

1 Inleiding

Boeren in de polder Zeevang hebben te maken met zeer hoge slootpeilen (< 30 cm –maaiveld), waardoor de ontwateringtoestand van de bodem minimaal is. Dit beperkt de gebruiksmogelijkheden van de landbouwgrond zoals die voor een moderne bedrijfsvoering gewenst is. Uitgangspunt hierbij is dat de grond landbouwkundig uitsluitend geschikt is voor grasland ten behoeve van de melkveehouderij. Door de slechte ontwatering komt de inkomenspositie van de melkveehouders sterk onder druk te staan (De Vos et al., 2004) en is het moeilijk om in de (nabije) toekomst een volwaardig melkveebedrijf voort te zetten.

Waterbeheer in het veenweidegebied op landbouwgrond is kiezen tussen twee kwaden, namelijk 1) een hoog slootpeil ter beperking van bodemdaling en 2) het behouden van voldoende draagkracht van de graszode voor de melkveehouderij. De zakking van veengronden zonder kleidek ligt afhankelijk van het slootpeil tussen de 5 en 12 mm per jaar (Van den Akker en Beuving, 1997, Beuving en Van den Akker, 1996). Veenafbraak in de zomer veroorzaakt meer dan 80% van de zakking; enerzijds door hogere bodemtemperaturen en anderzijds doordat door lage grondwaterstanden het veen aan zuurstof wordt blootgesteld doordat in de zomer de grondwaterstand in het veenweidegebied vaak enkele decimeters onder het slootpeil zakt. Om bodemdaling te voorkomen stelt men vaak voor om slootpeilen te verhogen. Daardoor neemt echter de draagkracht en graskwaliteit af en wordt een rendabele landbouw onmogelijk. Daarnaast is het effect van slootpeilverhoging beperkt door de hoge infiltratieweerstand van veenslootwanden. Slootpeilverhoging is daarom geen ideale oplossing voor de bodemdalingproblematiek.
Een geringe grondwaterstandverhoging in de zomer kan de maaivelddaling al sterk beperken (Van den Akker, 2005, Van den Akker et al, 2007, Hoving en Van den Akker, 2005). Hierdoor ontstond de gedachte om via onderwaterdrains slootwater in de ondergrond te infiltreren om zo de grondwaterstand richting slootpeil te verhogen en daarmee het veen te conserveren. Deze onderwaterdrains liggen daarbij onder het slootpeil en niet zoals gebruikelijk erboven. Om de effectiviteit van deze oplossing te onderzoeken is in oktober 2003 op het praktijkcentrum Zegveld een proef aangelegd op proefpercelen met een hoog slootpeil (15 à 20 cm –mv) en een lager slootpeil (55 cm –mv) met drainagebuizen en moldrains op afstanden van 4, 8 en 12 meter. De moldrain is een goedkope manier van draineren waarbij men een ‘mollengang’ aanbrengt door een kegel door de grond te trekken. De veldproef vond vanuit onderzoekstechnisch oogpunt plaats op een beperkt oppervlak. De uitkomsten van het onderzoek op Zegveld (2004 – 2007) zijn gerapporteerd in Hoving et al., 2008. In bijlage 1 staat een samenvatting van de uitkomsten.

De eerste resultaten (2004 en 2005) van het onderzoek op Zegveld waren aanleiding om in polder Zeevang te onderzoeken hoe onderwaterdrains op praktijkschaal zouden uitpakken. Het onderzoek startte in het najaar van 2006 en had als doel: het uitvoeren van een veldexperiment op praktijkschaal naar het effect van onderwaterdrains op de zakking van veengrond en op de landbouwkundige productiemogelijkheden van grasland bij een slootpeil 60 cm –maaiveld. De landinrichtingscommissie droeg in de polder Zeevang twee melkveebedrijven aan: het bedrijf van de familie Bakker in Kwadijk en het bedrijf van de familie Steenman te Hobrede. Het bedrijf Bakker heeft, evenals veel omliggende bedrijven in Polder Zeevang, te maken met zeer hoge slootpeilen. Op het bedrijf Steenman is daarentegen een verlaagd slootpeil toegepast van 80 cm –maaiveld.
Het voorstel was hier onderwaterdrains toe te passen om het slootpeil te kunnen verhogen naar 60 cm - maaiveld zonder dat hierdoor voor de bedrijfsvoering negatieve consequenties zouden ontstaan. Door het toepassen van onderwaterdrains wordt naar verwachting de wintergrondwaterstand verlaagd en de zomergrondwaterstand verhoogd, waardoor de landbouwkundige productieomstandigheden worden verbeterd en het bedrijfsinkomen minder onder druk komt te staan. Daarbij wordt de maaivelddaling tot een aanvaardbaar niveau teruggebracht. De hypothese is dat door toepassing van onderwaterdrains, in combinatie met een verlaging van de slootpeilen, niet zal leiden tot een toename van de bodemdaling. Hierdoor wordt winst geboekt voor de melkveehouderij én de waterbeheerder. Veehouders hebben met de betere drooglegging meer perspectief en vanuit het waterbeheer bezien kunnen de uitkomsten leiden tot het aanpassen van het peilbesluit over grotere beheereenheden. Bijkomend milieuvoordeel is dat door verminderde veenafbraak de CO_2-emissie afneemt.

In dit rapport ligt de nadruk op de invloed van onderwaterdrains op het verloop van de grondwaterstanden en op de grasproductie. We hebben ons hierbij voornamelijk gericht op het aantonen van verschillen tussen de onderzoeksobjecten en niet op het verklaren van verschillen. Daarnaast is voor een modelbedrijf een bedrijfseconomische berekening uitgevoerd om het effect te kennen van onderwaterdrains op het bedrijfsresultaat. In aanvullende rapportages van Alterra gaat men dieper op de hydrologische achtergronden in (Pleijter en Van den Akker, 2009). De maaiveldhoogte is jaarlijks gemeten, maar de onderzoeksperiode van 2 jaar was te kort om concrete uitspraken te doen over het effect van onderwaterdrains op de maaivelddaling.

2 Materiaal en methoden

2.1 Bodemkarakteristiek polder Zeevang

In de polder Zeevang bevinden zich afzettingen uit het pleistoceen op een diepte van circa 20 m. Daarboven bevinden zich mariene afzettingen die tot de formatie van Naaldwijk (laagpakket van Wormer) worden gerekend. Aan de oppervlakte komt in de polder een veenlaag (formatie van Nieuwkoop) voor die in dikte varieert tussen 0,80 en 1,0 meter. Het veen bestaat hoofdzakelijk uit zeggeveen of veenmosveen. Op plaatsen waar geen veenmosveen voorkomt is dit door vertering verdwenen, of is het door plaatselijke eutrofiëring nooit tot ontwikkeling gekomen. De bodemgesteldheid tot 1,20 m –mv is recent in kaart gebracht door Mulder et al., 1995 (figuur 2).

Figuur 2 Bodemkaart polder Zeevang naar Mulder et al., 1995 weergegeven met legenda van de bodemkaart van Nederland

De aanwezigheid en de dikte van het (zware) kleidek bepalen in grote mate de variatie in bodemopbouw. Het kleidek varieert op beide bedrijven in dikte tussen 5 en 30 cm en bestaat uit matig zware kalkloze klei. De proefpercelen bij Bakker hebben een bovengrond die bestaat uit kleiig moerig materiaal (koopveengronden), maar op het bedrijf liggen ook gronden waarbij de bovengrond bestaat uit humusrijke klei (weideveengronden).
Op het bedrijf van Steenman neemt het organische stofgehalte van de bovengrond globaal van zuid naar noord af. Langs het spoor liggen gronden met een kleidek tot maximaal 30 cm dikte (weideveengronden). Achter de boerderij komen kleidekken zonder eerdlaag voor (waardveengronden). Zowel op het proefperceel als op het referentieperceel liggen hoofdzakelijk veengronden met een moerige bovengrond (koopveengronden), evenals van de proefpercelen op het bedrijf van Bakker.

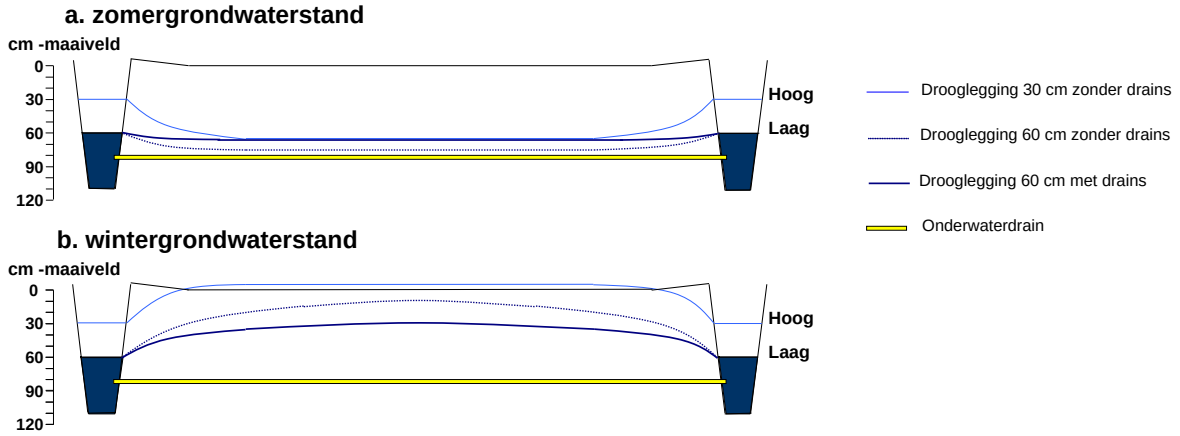
In de ondergrond werd op beide bedrijven onder het veen 'korte klei' aangetroffen. Dit is een afzetting die na rijping weer onder water is komen te liggen. De korrelige structuur van de klei veroorzaakt een grote verzadigde doorlatendheid. De onderkant van deze laag was moeilijk vast te stellen. Op het bedrijf van Steenman nam de korrelige structuur van de klei naar het noorden toe af. Tot 150 cm –mv was er duidelijk sprake van korte klei, daaronder wordt de klei elastischer en compacter, met nog een enkel dun laagje met korte klei.

De klei onder de korte klei was zwaar van textuur en bevatte een beetje organische stof (rietresten). Het profiel liep langzaam af en vanaf 300 cm –mv werd het sediment duidelijk zandiger en kalkrijk (het materiaal is niet getest op kalkrijkdom). Onderin de boring bestond het materiaal uit kalkrijk wadzand behorende tot de afzettingen van Calais.

2.2 Onderwaterdrains en relatie slootpeil - grondwaterstand

Een mogelijke maatregel om de positieve effecten (toename infiltratie) van het verhogen van het slootpeil te bevorderen en de negatieve effecten (afname drainage) te onderdrukken, is het aanbrengen van onderwaterdrains: buisdrainage in de permanent verzadigde zone van het veenprofiel. In figuur 3 is in een dwarsdoorsnede van een perceel de wintergrondwaterstand en de zomergrondwaterstand ten opzichte van het slootpeil weergegeven. Het te verwachten effect van deze maatregel is een sterke nivellering van het grondwaterstandsverloop door het jaar, met de gewenste verhoging in de zomer en verlaging in de winter van de grondwaterstand. In het meest gunstige geval kunnen onderwaterdrains het verhogen van het (zomer)peil, voor het voldoende verhogen van de zomergrondwaterstand, overbodig maken. De vraag is onderwaterdrains een vergelijkbare daling van de zomergrondwaterstand (en zo mogelijk minder) kunnen realiseren als bij een hoog slootpeil. Bijkomend voordeel van de hogere grondwaterstanden is dat dit in de zomer verdroging tegengaat en daarmee de grasgroei kan bevorderen. Bij een neerslagoverschot kan water via dezelfde drains ook worden afgevoerd, waardoor het land sneller begaanbaar is. Daarbij vermindert oppervlakkige afvoer van water door greppels. De door onderwaterdrains te verwachten verandering van de waterhuishouding heeft wellicht ook consequenties voor de waterkwaliteit en de hoeveelheid waterberging.

Figuur 3 Dwarsdoorsnede van een perceel en belendende sloten met a) de zomergrondwaterstand en b) de wintergrondwaterstand ten opzichte van de slootpeilen 30 en 60 cm –maaiveld, respectievelijk aangeduid met ‘hoog’ en ‘laag’ en het nivellerende effect van onderwaterdrains (bij een slootpeil van 60 cm – maaiveld) op de grondwaterstand; de zomergrondwaterstand wordt verhoogd (tot circa grondwaterstand bij hoog peil) en de wintergrondwaterstand wordt verlaagd



2.3 Proefopzet

In de Polder Zeevang zijn in september 2006 op het melkveebedrijf van de familie Bakker en Steenman proefpercelen ingericht (zie bijlage 2) . De locaties onderscheiden zich door een verschillend waterbeheer. Op het bedrijf van Steenman in Hobrede is de ontwatering relatief diep (80 cm –mv) dankzij een ontheffing voor het onderbemalen van het slootpeil. Op het bedrijf van Bakker in Kwadijk is het slootpeil altijd relatief hoog geweest, even hoog als het buitenwater (15 cm –mv). Voor het onderzoek is op beide locaties de drooglegging ingesteld op 60 cm –mv; voor Bakker een flinke verlaging, voor Steenman een verhoging ten opzichte van de oude situatie. De drainage is op beide locaties aangelegd met een sleufloze draineermachine. In een vooronderzoek zijn de bodemopbouw, de maaiveldhoogteverdeling, de afmetingen van de waterlopen en de in situ verzadigde doorlatendheid (k-waarde) van de bodemlagen vastgesteld. Aan de hand van de resultaten is de vereiste drainafstand vastgesteld op 6 m, waarbij rekening gehouden is met het kunnen opvangen van enige

achteruitgang in infiltrerende werking van de drains. De drains hebben een diameter van 60 mm en zijn voorzien van een niet gestandaardiseerd omhullingmateriaal (gerecyclede bollennetten). De drains liggen op een diepte van circa 70 cm –mv (10 cm onder het slootpeil) en zijn zonder afschot aangelegd.

Bakker - Kwadijk

Op een proefperceel met een verlaagd peil van 60 cm –mv 'het derde perceel' zijn in september 2006 op de achterste helft van het perceel twee proefvakken met onderwaterdrains aangelegd, waarbij de drains dwars op de lengterichting van het perceel liggen (Bijlage 2, 'derde perceel van de boerderij'). Op de voorste helft van het proefperceel zijn drains in de lengterichting aangelegd met een lengte van 120 m, dat eveneens als proefobject diende. De drainvakken lagen minimaal 50 m van elkaar, zodat deze elkaar niet konden beïnvloeden. Op het bedrijf werd in het totaal ongeveer 20 ha grasland gedraineerd. Overal hebben de drains een onderlinge afstand van 6 m. Om de kosten voor het aanleggen zo laag mogelijk te houden en om het aantal eindbuizen in de sloot te beperken (kwetsbaar bij slootonderhoud) werden alle drains in de lengterichting aangelegd. Twee praktijkpercelen met lengtedrains van respectievelijk 350 m ('tegenover derde perceel') en 450 m ('tweede perceel') werden eveneens gemonitord en als proefobject beschouwd. Een perceel nabij Kwadijk ('dorp') diende als referentie; op dit perceel werd geen drainage aangelegd en het hoge slootpeil gehandhaafd.

Steenman - Hobrede

Bij Steenman in Hobrede is sinds decennia onderbemaling toegepast tot 78 cm –mv. Het peil in de sloten werd ten behoeve van de proef verhoogd tot 60 cm –mv. Op 'perceel 9' zijn in oktober 2006 op twee plaatsen onderwaterdrains aangelegd dwars op de lengterichting van het perceel (Bijlage 2). 'Perceel 6' werd als referentieperceel gebruikt; dit perceel behield het lage slootpeil van 78 cm –mv en werd niet gedraineerd.

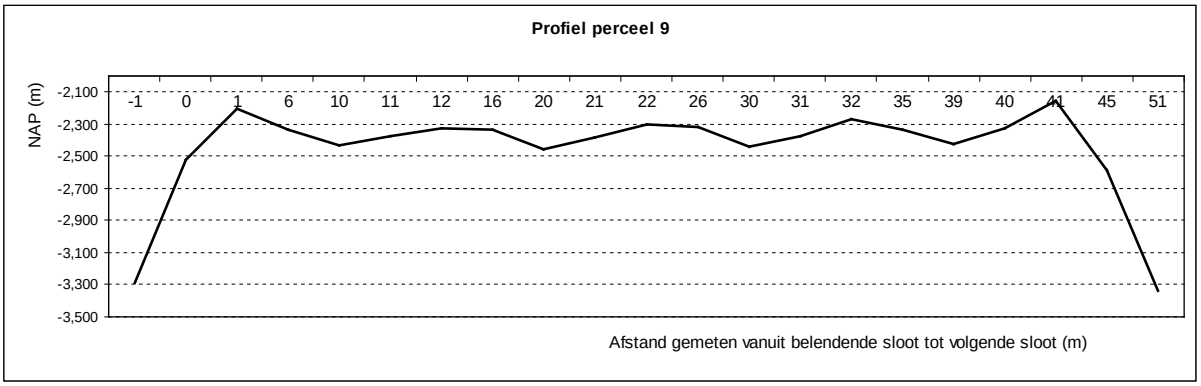
De niet gedraineerde tussenruimtes op de proefpercelen van beide locaties werden benut als blanco object om het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand te kunnen toetsen. Voor de behandelingen wel en geen onderwaterdrains vond dus een herhaling van de waarnemingen plaats binnen een perceel. Om het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengst te bepalen werden op de proef- en de referentiepercelen stroken uitgemaaid bij twee N-bemestingsniveaus, namelijk geen bemesting (N0) en praktijkbemesting (N1). In tabel 1 staat op welke locaties welke behandelingen zijn uitgevoerd en hoe vaak die voorkwamen. Daarbij is aangegeven op welke behandelingen een verschil in stikstofbemestingsniveau werd gehanteerd (subbehandeling).

Tabel 1 Behandelingen per locatie en het aantal herhalingen (#) per behandeling. Op de proefpercelen en referentiepercelen werden twee niveaus van stikstofbemesting gehanteerd (subbehandeling): geen bemesting (N0) en praktijkbemesting (N1)

Behandelingen	Locatie		Subbehandeling (N0, N1)
	Bakker	Steenman	
a) Boezempeil zonder drains	X		X
b) Peil 60 cm -mv zonder drains	X (2)	X (2)	X (4)
c) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m	X (2)	X (2)	X (4)
d) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 120 m	X		
e) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 300 m	X		
f) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 450 m	X		
g) Peil 78 cm -mv zonder drains		X	X

De percelen op de locaties Hobrede en Kwadijk werden gekenmerkt door een stelsel van afwateringsgreppels met daar tussen in akkertjes (figuur 4). De akkertjes liggen bol en wateren af op de greppels. De akkers langs de sloot waren in Hobrede duidelijk hoger dan de overige akkers. In Kwadijk was dit niet het geval.

Figuur 4 Profiel van het proefperceel in Hobrede (polder Zeevang); percelen met een stelsel van akkers en greppels



Samengevat waren de behandelingen en subbehandelingen op beide locaties als volgt.

Hoofdbehandelingen
a) Boezempeil zonder buisdrainage
b) Peil 60 cm -mv zonder buisdrainage
c) Peil 60 cm -mv met buisdrainage in de dwarsrichting van het perceel 40 m
d) Peil 60 cm -mv met buisdrainage in de lengterichting van het perceel 120 m
e) Peil 60 cm -mv met buisdrainage in de lengterichting van het perceel 300 m
f) Peil 60 cm -mv met buisdrainage in de lengterichting van het perceel 450 m
g) Peil 78 cm -mv zonder buisdrainage

Subbehandelingen
1. Geen stikstofbemesting (N0)
2. Praktijk stikstofbemesting (N1)

2.4 Teelt en bemesting

De bemesting is uitgevoerd conform de proef met onderwaterdrains op Praktijkcentrum Zegveld. Voor de N1-velden werd een N-bemestingsniveau gehanteerd van 225 kg N per ha. De N0-velden kregen geen N toegediend. De bemestingshoeveelheden N, P2O5 en K2O staan in tabel 2.

Tabel 2 Bemestingshoeveelheden N, P2O5 en K2O per snede (kg per ha)

Snede	1	2	3	4	5	totaal
N (kg per ha)	80	50	35	30	30	225
P2O5 (kg per ha)	45	30	30	30	25	160
K2O (kg per ha)	100	100	100	100	100	500

2.5 Waarnemingen

Grondwaterstanden en slootpeilen
Tweewekelijks (even weeknummers) werden de grondwaterstanden in speciaal hiervoor geplaatste peilbuizen gemeten (zie bijlage 2). Daarnaast zijn de slootpeilen gemeten. Bij Bakker het verhoogde peil 60 cm –mv bij de onderbemalingspomp (voor de boerderij) en het boezempeil (naast de boerderij en bij het perceel ‘dorp’), bij Steenman bij de onderbemalingspomp en het peil ten opzichte van de stuw (tegenover de boerderij).

Grasopbrengsten
Op de proefpercelen waar in de breedterichting drainvakken zijn aangelegd bij slootpeil 60 cm –mv zijn voor het bepalen van de grasopbrengsten vier proefvakken aangelegd; twee keer één proefvak op beide ongedraineerde gedeelten en twee keer één proefvak op beide gedraineerde gedeelten (zie Bijlage 2). Voor de stikstofbemesting hebben we twee niveaus gehanteerd om het effect van slootpeil en onderwaterdrains op de stikstoflevering van de bodem te kunnen bepalen. Een verminderde

stikstoflevering kan namelijk wijzen op een vermindering van de veenafbraak. De N-opname met gras is dan lager en gaat veelal gepaard met een lagere drogestofopbrengst.
De opbrengstbepaling vond per proefvak voor beide stikstofniveaus in tweevoud plaats. De grasopbrengst werd per snede bepaald door stroken uit te maaien. Het gras hebben we vers gewogen, gedroogd en teruggewogen om het drogestofgehalte van het gras te bepalen.

Maaivelddaling
Collega's van Alterra hebben de hoogtemetingen uitgevoerd. Elk voorjaar werden afhankelijk van de vochttoestand van de bodem in de periode eind maart tot eind april de maaiveldhoogten gemeten. Dit gebeurde op twee manieren, namelijk 1) door hoogte van de bovenkant van de tegels te meten die boven de grondwaterstandsbuizen liggen en 2) door de hoogte van de speciaal voor dit doel geplaatste zakplaatjes te meten, waarmee op meerdere diepten in de bodem de bodemdaling kan worden vastgesteld. De hoogte van de zakplaatjes werd in het voorjaar en in het najaar gemeten, waarbij de najaarsmeting werd uitgevoerd om de tijdelijke maaivelddaling door krimp te meten en om de meetopstelling te controleren en eventueel te repareren vóór de winter. Een uitgebreide beschrijving van de gehanteerde methode en de meetinrichting in polder Zeevang staat in Pleijter en van de Akker (2007).

Botanische samenstelling
De proef- en referentiepercelen werden in de periode 2006-2008 in het voor- en of najaar botanisch gekarteerd om te zien hoe de botanische samenstelling zich ontwikkelde door het veranderende peilbeheer. Daarbij is op de proefpercelen geen onderscheid gemaakt tussen de objecten met en zonder onderwaterdrains, omdat we in de relatief korte tijdsperiode vooral effect verwachtten van de forse peilverandering.

2.6 Neerslag

De grondwaterpeilen worden bepaald door de neerslag en de gewasverdamping. Bij een neerslagoverschot zijn de peilen relatief hoog en bij een verdampingsoverschot relatief laag. De neerslagsommen per maand en per jaar, afkomstig van het KNMI- weerstation De Bilt, staan in tabel 3. Met de verdampingscijfers kan het potentiële neerslagtekort worden berekend. Het werkelijk neerslagtekort kan hier nog behoorlijk van afwijken, omdat het neerslagpatroon ook een rol speelt. In deze rapportage hebben we ons voornamelijk gericht op het aantonen van verschillen tussen objecten en niet op het verklaren van het grondwaterstandverloop per object. Zodoende hebben we verder geen gebruik gemaakt van neerslag- en verdampingsgegevens.

Tabel 3 Totale neerslag per maand en per jaar en gemiddelde temperatuur, gemeten op het KNMI- weerstation De Bilt (bron www.knmi.nl)

	Neerslag (mm)					Temperatuur (˚C)				
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
Januari	15,1	103,8	96,3	53,7	41,2	1,5	7,1	6,5	0,8	-0,5
Februari	58,8	67,9	39,2	55,1	77,0	2,9	6	5,1	3,3	1,6
Maart	104,3	84,8	91,9	48,2	54,6	3,9	8	5,9	6,3	6,4
April	39,8	0,3	33,9	19,9	30,8	9,0	13,1	8,9	12,2	9,7
Mei	90,2	137,9	32,7	65,0	66,0	14,5	14,1	15,7	13,9	10,5
Juni	18,0	90,1	39,7	53,3	18,2	16,7	17,5	16,5	15,6	16,4
Juli	15,0	160,6	126,8	107,1	77,2	22,3	17,0	18,1	18,1	19,9
Augustus	180,5	42,2	113,7	46,9	155,3	16,4	17,1	17,4	18,5	16,8
September	8,6	96,8	100,0	33,5	90,3	17,9	13,8	13,6	15,0	13,6
Oktober	109,3	31,9	91,5	89,8	88,2	13,6	10,1	10,1	10,7	10,4
November	92,5	58,3	90,5	120,0	83,4	9,2	6,9	6,9	9,5	5,8
December	75,0	76,5	24,3	84,4	43,1	6,5	3,8	2,4	2,2	-1,1
Totaal	807,1	951,1	880,5	776,9	825,3	11,2	11,2	10,6	10,5	9,1

2.7 Statistiek

Voor een betrouwbare vergelijking van de grondwaterstanden en de grasopbrengsten van de verschillende onderzoeksobjecten zijn evenals in het onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld de resultaten gemodelleerd en vervolgens statistisch getoetst. Voor de grondwaterstanden is uitgegaan van een cyclisch verloop binnen een jaar, aangezien gemiddeld de grondwaterstanden in de winter relatief hoog en in de zomer relatief laag zijn. Uitgegaan is van een sinusoïde verloop. Dit is weliswaar een sterke versimpeling van de werkelijkheid, maar maakt het mogelijk om in grote lijn het verschil in grondwaterstandverloop tot uitdrukking te brengen en te toetsen. Voor de grasopbrengsten is uitgegaan van een lineair model.

2.7.1 Verloop grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstand $Z(t)$ volgt per buis een sinusoïde met de volgende formule:

$$Z(t) = Nivo + Amplitude * \cos\left(\frac{2\pi(t - Phase)}{365}\right)$$

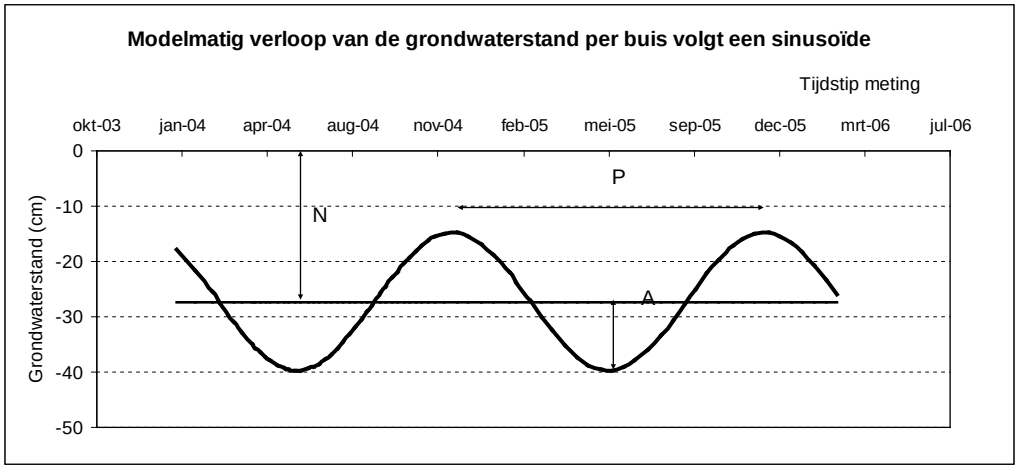
Het Nivo is de gemiddelde grondwaterstand, de Amplitude de maximale stijging en daling en de Fase is de tijdsperiode tussen twee momenten waarop de grondwaterstand maximaal of minimaal is. Gemiddeld over een lange periode (meerdere decennia) is de Fase ongeveer 365 dagen. Als parameter in de functie is de Fase essentieel, maar heeft waterhuishoudkundig geen betekenis.
In enkele gevallen steeg het grondwater tot aan het maaiveld (plasvorming), daarom is de uiteindelijke formule voor de grondwaterstand $Z^+(t)$ als volgt:

$$Z^+(t) = Z(t) I_{Z(t)<0}$$

De indicatorfunctie $I_{Z(t)<0}$ zorgt ervoor dat de grondwaterstand altijd kleiner of gelijk aan 0 is.

Ter illustratie staat in figuur 5 een modelmatige weergave van het verloop van de grondwaterstand per peilbuis volgens een sinusoïde model met daarin aangegeven het Nivo (N), de Amplitude (A) en de Fase (P).

Figuur 5 Modelmatig verloop van de grondwaterstand per peilbuis volgens een sinusoïde model met N) het niveau van de gemiddelde grondwaterstand, A) de amplitude; de maximale stijging en daling van de grondwaterstand en P) de fase; de periode tussen de tijdstippen waarop de grondwaterstand maximaal of minimaal is



De analyse is in twee fasen uitgevoerd. In de eerste fase zijn de parameters Niveau, Amplitude en Fase per buis geschat met FITNONLINEAR in Genstat (Genstat 6. Committee, 2002).
De parameterschattingen vormden de variabelen in de nieuwe dataset en zijn vervolgens (tweede fase) in Genstat met REML per perceel per variabele geanalyseerd volgens het model:

$$Y = \mu + \alpha_{Type} + \beta_{Richting} + \varepsilon(x, y)$$

Met:

$\underline{Y}$: responsvariabele, in dit geval parameters Niveau, Amplitude en Fase

μ: gemiddelde waarde bij hoofdbehandeling geen drains

α: gemiddelde effect van hoofdbehandeling drains

β: gemiddelde effect bij behandeling lengtedrains (t.o.v. dwarsdrains)

$\varepsilon(x, y)$: random effect van peilbuis (met coördinaten (x,y) binnen een perceel; met verdeling: $\underline{\varepsilon} \sim N(0; \sigma^2_{(x,y)}, \phi^{(\Delta x, \Delta y)})$) Random effecten van peilbuis; deze zijn ruimtelijk gecorreleerd. De correlatie is afhankelijk van de afstand via de x-coordinaat, dan wel via de y-coordinaat (powerfunctie)

Getoetst zijn de hoofdeffecten en interacties t/m 3^e orde. Niet significante termen (P>0,05) zijn uit het model weggelaten. De restterm bestaat uit afhankelijke residuen, waarbij de correlatie afhankelijk is van de afstand tussen de peilbuizen.

2.7.2 Grasopbrengst

Met behulp van een REML-model (Genstat 6. Committee, 2002) zijn de drogestofopbrengst en de stikstofopbrengst op jaarbasis geanalyseerd. Het model is gecorrigeerd voor random invloeden van drainage, stikstofniveau, slootpeil en jaarafhankelijke effecten. In het fixed model zijn de behandelingseffecten getoetst (inclusief de interactie met de locatie). Het model voor zowel drogestof- als stikstofopbrengst was als volgt:

$$\underline{Y} = \mu_{ij} + \underline{\varepsilon}_m + \underline{\varepsilon}_{im} + \underline{\varepsilon}_{lm} + \underline{\varepsilon}_{imn} + \underline{\varepsilon}_{ilm} + \underline{\varepsilon}_{imnl}$$

Met:

$\underline{Y}$: responsvariabele, in dit geval drogestof- of stikstofopbrengst in kg/ha

μ_{ij}: gemiddelde waarde bij hoofdbehandeling wel of geen drains *i* en subbehandeling stikstofbemesting *j*

$\underline{\varepsilon}_{m,im,lm,imn,ilm,imnl}$: Randomeffecten van respectievelijk perceel, plot binnen perceel, blok binnen plot binnen perceel, veldje binnen blok binnen plot binnen perceel en alle interactietermen daarvan met kalenderjaar. Voor alle randomeffecten geldt dat de effecten een normale verdeling volgen met een gemiddelde van 0 en een spreiding σ: $\underline{\varepsilon}_{.} \sim N(0, \sigma^2_{.})$

3 Resultaten

3.1 Slootpeil en drooglegging percelen

Voor het bepalen van de gemiddelde drooglegging per perceel per behandeling is het verschil bepaald tussen het gemiddelde slootpeil (cm-NAP) en het maaiveld (mv) van de proefobjecten, te weten de bovenkant van de peilbuizen (cm-NAP). In tabel 4 staat de drooglegging per behandeling per perceel.

Tabel 4 Maaiveldhoogte, slootpeil en drooglegging (cm-NAP) per behandeling per locatie

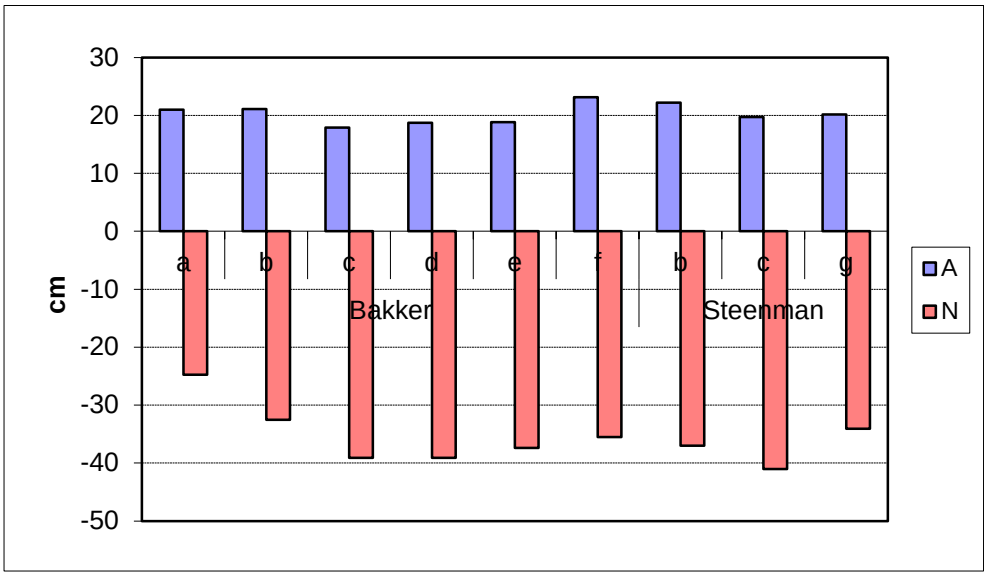
Behandelingen		Bakker			Steenman		
		Maai-veld	Sloot-peil	Droog-legging	Maai-veld	Sloot-peil	Droog-legging
a)	Boezempeil zonder drains	-226	-244	-18			
b)	Peil 60 cm -mv zonder drains	-226	-278	-52	-230	-284	-54
c)	Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m	-224	-278	-54	-228	-284	-56
d)	Peil 60 cm -mv drains lengterichting 120 m	-225	-278	-53			
e)	Peil 60 cm -mv drains lengterichting 300 m	-225	-278	-53			
f)	Peil 60 cm -mv drains lengterichting 450 m	-224	-278	-54			
g)	Peil 78 cm -mv zonder drains				-214	-287	-74

De drooglegging van de behandelingen *b* tot en met *f* was gemiddeld 6 tot 8 cm kleiner dan de gestreefde drooglegging van 60 cm –mv. De drooglegging van behandeling *a* liet zien dat bij het boezempeil inderdaad sprake was van een landbouwkundige zeer natte situatie. Bij behandeling *g* was de drooglegging 4 cm kleiner dan de vooraf veronderstelde 78 cm.

3.2 Analyse modelparameters grondwaterstanden

De gemiddelde waarden van de parameters Amplitude (A) en Nivo (N) staan in figuur 6. De gemiddelden voor de fase (P) hebben we buiten beschouwing gelaten, omdat de fase hydrologisch geen betekenis heeft. Wanneer onderwaterdrains goed functioneren, versnelt de aan- en afvoer van water ten opzichte van de situatie zonder drains, waardoor de Amplitude (maximale stijging en daling van de grondwaterstand) kleiner wordt. Bij een goede drainerende functie wordt het Niveau lager.

Figuur 6 Statistische schatting amplitude (A) en niveau (N) grondwaterstandverloop per behandeling: a) Boezempeil zonder drains, b) Peil 60 cm -mv zonder drains, c) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting, d) Peil 60 cm -mv 120 lengterichting, e) Peil 60 cm -mv 300 lengterichting, f) Peil 60 cm -mv 450 lengterichting en g) Peil 78 cm -mv zonder drains



De behandelingen *c, d* en e (respectievelijk drainlengtes van 40, 120 en 300 m) hadden op het bedrijf Bakker een duidelijk lagere amplitude dan de behandelingen zonder drains (*a, b* en *g*) en de behandeling met een drainlengte van 450 m (*f*). Dus tot een drainlengtes van 300 m was er duidelijk sprake van een nivellering van de grondwaterstanden. Opvalt dat de amplitude bij behandeling *c* op het bedrijf Steenman hoger was dan op het bedrijf Bakker. Het verschil tussen behandeling *c* en *b* (met en zonder drains) was echter voor beide bedrijven nagenoeg gelijk, waardoor het nivellerende effect van de drains van 40 m lengte en een peil van -60 cm gelijk was.

Behandeling *a* had duidelijk het hoogste gemiddelde niveau (kleinste verschil met het maaiveld) van bijna 25 cm –mv door het hoge polderpeil. Bij verlaging van het peil tot 60 cm –mv zonder drains (*b*) werd het niveau bij Bakker verlaagd tot 33 cm –mv en bij Steenman tot 37 cm -mv. Met onderwaterdrains in de dwarsrichting (*c*) van het perceel werd op beide locaties het gemiddelde niveau verlaagd tot 39 à 41 cm -mv. De behandelingen met relatief lange drainafstanden (*e* en *f*) lieten ook een duidelijke verlaging van het niveau zien van 35 á 37 cm –mv.

In tabel 5 staan per locatie voor behandelingen *b*, *c* en *d* de gemiddelde modelwaarden voor de parameters A en N en de overschrijdingskansen (p-waarden) van de statistische toetsing (ANOVA) voor de hoofdterm drain en de interactieterm drain.lengte (locatie Bakker). Doordat de overige behandelingen slechts in enkelvoud voorkwamen waren de meetresultaten te weinig onderscheidend voor een statistisch betrouwbare toetsing. Er is dus alleen een toetsing uitgevoerd op het effect van wel of geen drains bij een peil van 60 cm –mv en het effect van drainlengte (40 en 120 m).

Het toepassen van onderwaterdrains had een significant (P<0,05) verlagend effect op de amplitude en een sterk significant effect (P> 0,01) op het niveau. Het effect van drainlengte op amplitude en niveau was niet significant (P>0,05).

Tabel 5 Gemiddelde waarden voor amplitude (A) en niveau (N) en de overschrijdingskansen (p-waarden) voor de statistische toetsing van het hoofdeffect drain en het interactie-effect drain.drainlengte voor de behandelingen: *b*) Peil 60 cm -mv zonder drains, *c*) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m, *d*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 120 m

Locatie		A	N
Bakker	Behandeling		
	a	-	-
	b	21,20	-32,55
	c	17,91	-39,13
	d	18,70	-39,10
	e	-	-
	f	-	-
	Drain	0,023	0,006
	Drain.lengte	0,583	0,995
Steenman	Behandeling		
	b	22,20	-36,99
	c	19,72	-41,02
	g	-	-
	Drain	0,004	0,043

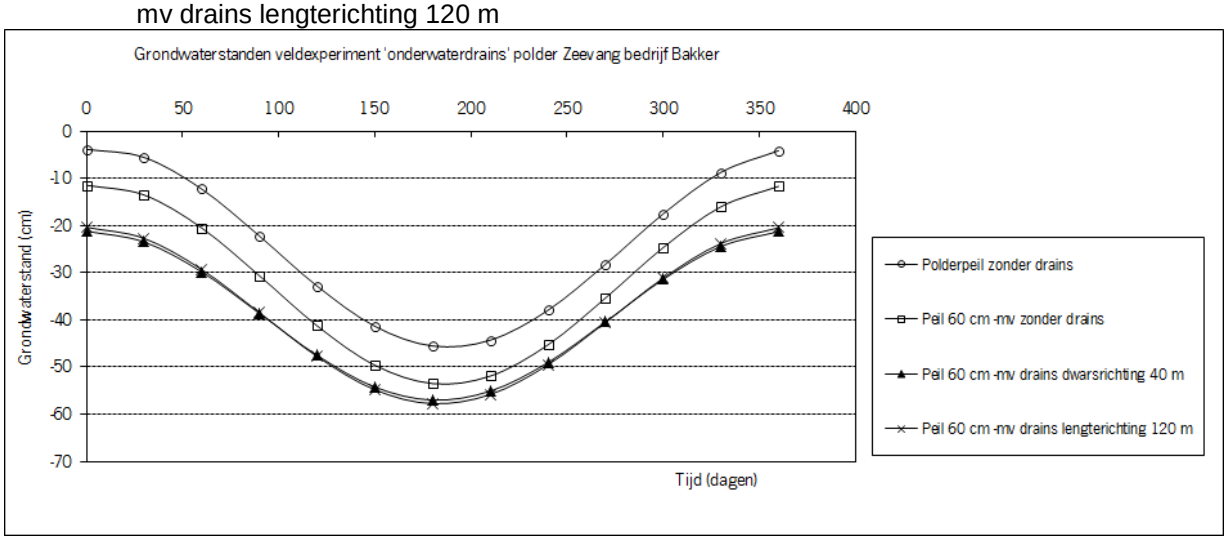
3.3 Vergelijking gefitte modellen grondwaterstanden

De gefitte modellen voor de drainagebehandelingen staan in de figuren 7, 8 en 9 om te zien hoe de grondwaterstanden zich onderling verhielden. De grondwaterstanden zijn uitgedrukt ten opzichte van het maaiveld van de betreffende behandeling en de locatie. Voor een zuivere vergelijking van de modellen zijn verschillen in maaiveldhoogte in de betreffende figuren buiten beschouwing gelaten. In figuur 7 is een vergelijking gemaakt tussen de behandelingen *a, b, c* en *d* op het bedrijf Bakker, namelijk de referentiesituatie zonder drainage bij het boezempeil en de objecten met en zonder drainage op het proefperceel bij een verlaagd peil. In figuur 8 is een vergelijking gemaakt tussen

wederom het boezempeil en de praktijksituaties met lengtedrains ook voor het bedrijf Bakker. In figuur 9 staan de gefitte modellen voor de behandelingen van het bedrijf Steenman.

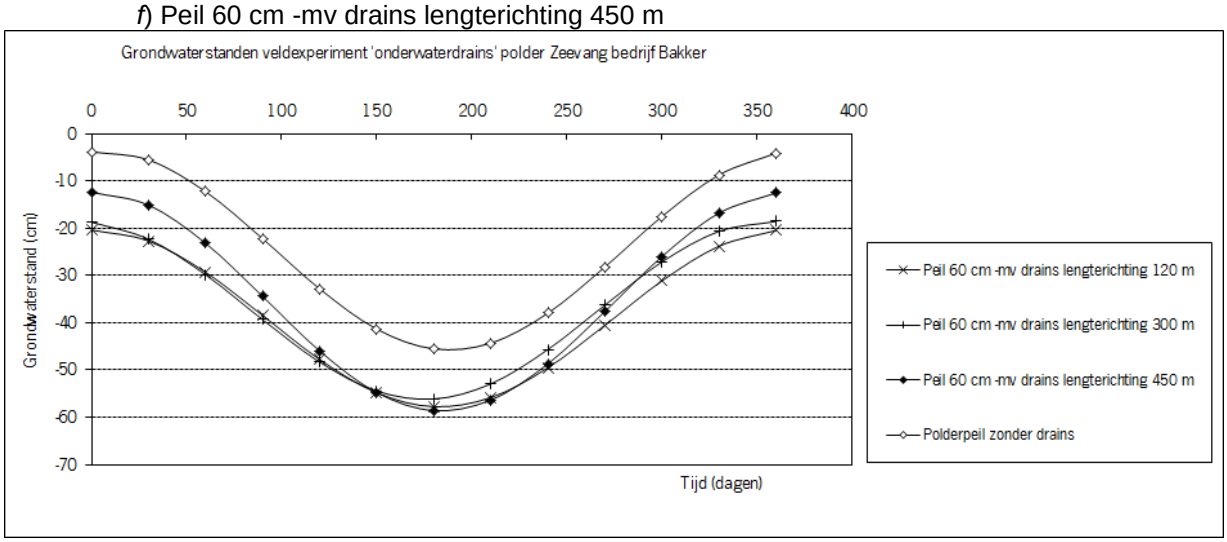
Figuur 7 laat zien dat het verschil tussen de behandelingen a) Polderpeil zonder drains en b) Peil 60 cm -mv zonder drains voor de winter- en zomergrondwaterstand gemiddeld 7 à 8 cm bedroeg, ondanks de forse peilverlaging. De grondwaterstanden van de behandelingen met de relatief korte drainlengtes van 40 en 120 m waren gemiddeld lager dan die van de behandelingen *a* en *b* zonder drains en hadden een duidelijk vlakker grondwaterstandverloop; het verschil in wintergrondwaterstanden was 5 à 6 cm groter dan het verschil in zomergrondwaterstanden.

Figuur 7 Gefitte modellen van de grondwaterstanden bedrijf Bakker zonder correctie voor verschillen in maaiveldhoogte voor de behandelingen *a*) Boezempeil zonder drains, *b*) Peil 60 cm -mv zonder drains, *c*) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m en *d*) Peil 60 cm –mv drains lengterichting 120 m



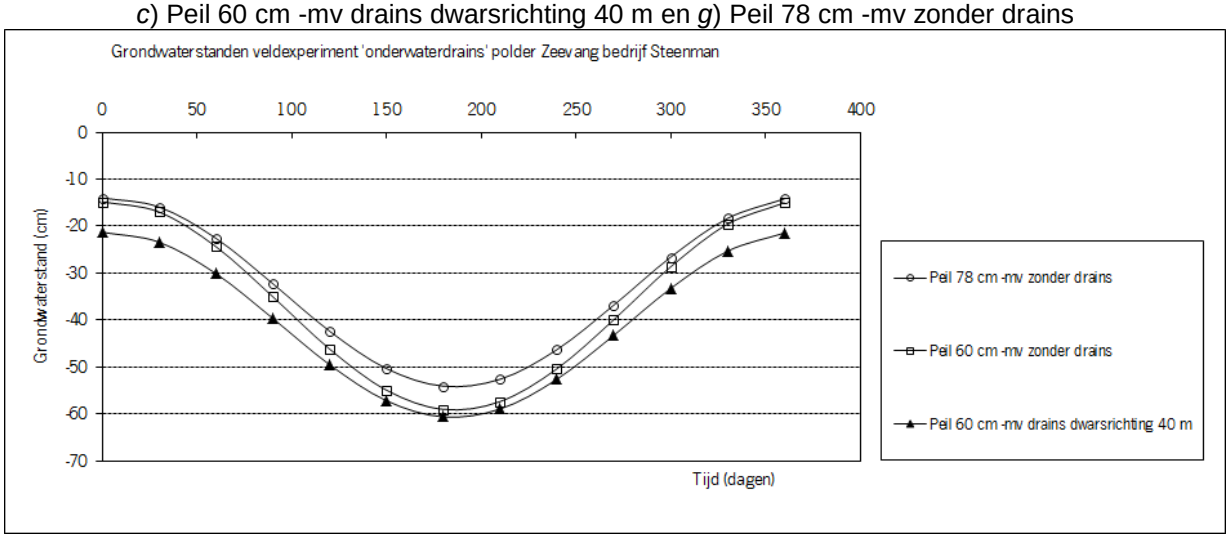
In figuur 8 is te zien dat de behandelingen met drains in de lengterichting 120, 300 en 450 m (behandeling *d*, *e* en *f*) vergeleken met het polderpeil zonder drains (behandeling *a*) gemiddeld een lager grondwaterniveau hadden als gevolg van de peilverlaging tot 60 cm –mv. Bij 300 m werd het grondwaterstandsverloop iets minder afgevlakt als bij 120 m en bij 450 m was er geen sprake meer van afvlakking; het verschil tussen de zomerpeilen was groter dan het verschil tussen de winterpeilen.

Figuur 8 Gefitte modellen van de grondwaterstanden bedrijf Bakker zonder correctie voor verschillen in maaiveldhoogte voor de behandelingen *a*) Boezempeil zonder drains, *d*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 120 m, *e*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 300 m en *f*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 450 m



In figuur 9 is te zien dat op het bedrijf Steenman de referentiesituatie met een relatief laag peil van gemiddeld 74 cm –mv (behandeling *g*) gemiddeld de hoogste zomergrondwaterstand had ten opzichte van de behandelingen *b* en *c* bij een hoger peil van bijna 60 cm –mv. Dit was dus niet volgens de verwachting. De behandeling zonder drains (*b*) had een vergelijkbare wintergrondwaterstand en een beduidend lagere zomergrondwaterstand. De behandeling met drains in de dwarsrichting van het perceel (*c*) liet zowel een beduidend lagere gemiddelde winter- als zomergrondwaterstand zien als die van het referentieperceel (*g*). Binnen het proefperceel had de behandeling met drains (*c)* een duidelijk afvlakkende werking door verlaging van de wintergrondwaterstand en een gelijkblijvende zomergrondwaterstand ten opzichte van behandeling zonder drains (*b*). Ondanks de extra waterafvoer in de winter bij behandeling *c* zakte de zomergrondwaterstand nauwelijks verder uit dan bij behandeling *b*.

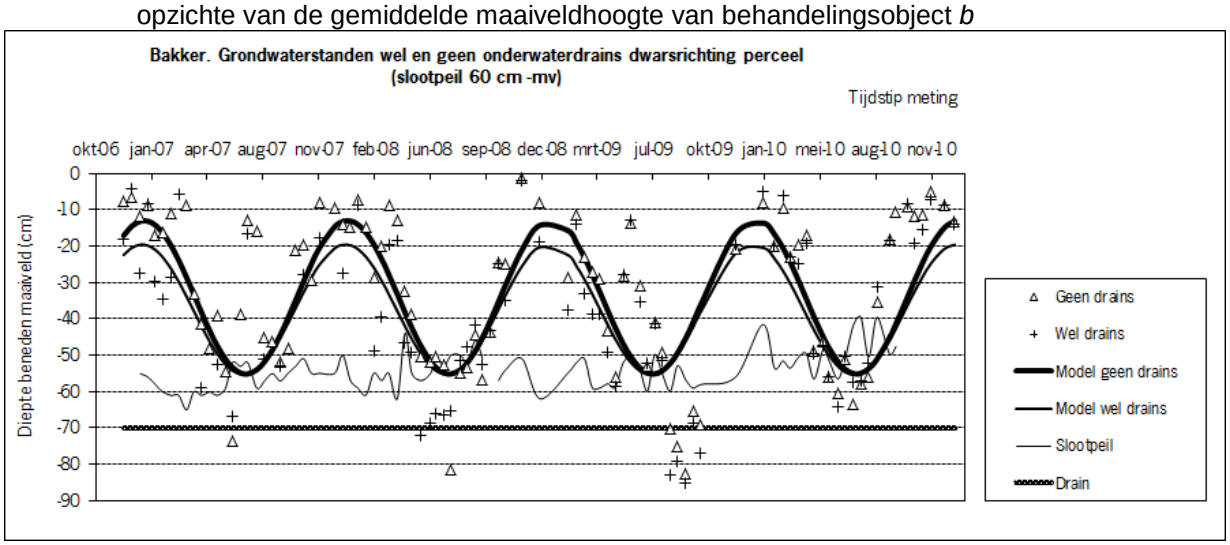
Figuur 9 Gefitte modellen van de grondwaterstanden bedrijf Steenman zonder correctie voor verschillen in maaiveldhoogte voor de behandelingen *b*) Peil 60 cm -mv zonder drains, *c*) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m en *g*) Peil 78 cm -mv zonder drains



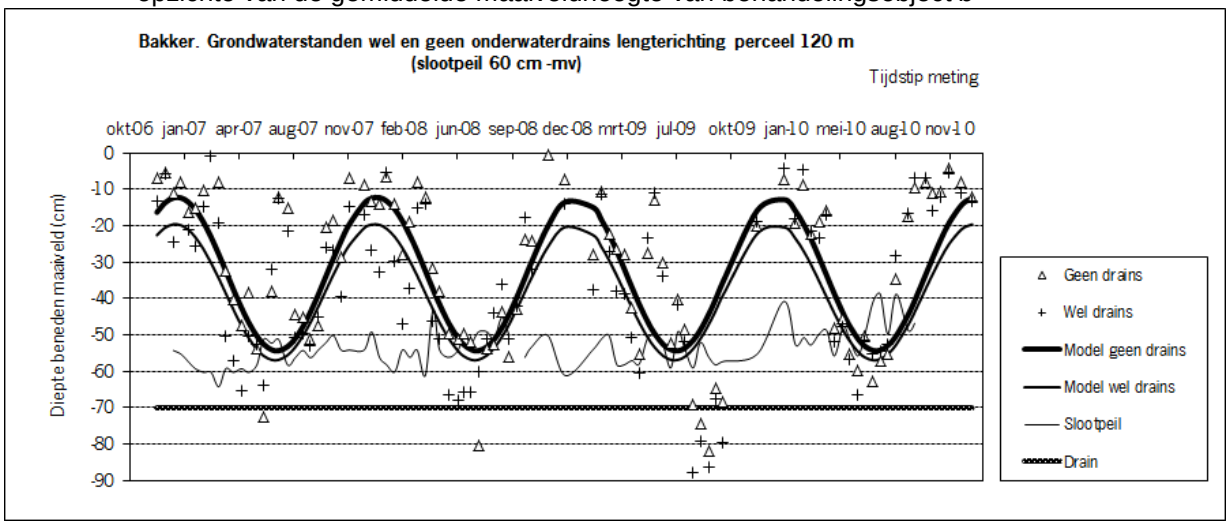
3.4 Vergelijking gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden

Per behandeling zijn de gefitte modellen en de gemeten grondwaterstanden te lezen in de figuren 10 tot en met 16. Daarbij is het verloop van het slootpeil en de diepte van de drain weergegeven. Met de figuren wordt zichtbaar op welke momenten de verschillen in metingen tussen objecten het grootst waren (relatief droge en natte perioden) en hoe deze verschillen zich verhouden met de gefitte modellen. De figuren 10 tot en met 14 hebben betrekking op behandelingen die bij Bakker zijn uitgevoerd, waarbij in de figuren 10 en 11 een vergelijking is gemaakt tussen wel en geen drains bij een slootpeil van 60 cm voor respectievelijk de drainlengtes 40 en 120 m en waarbij in de figuren 12 tot en 14 een vergelijking is gemaakt tussen het polderpeil zonder drains (referentiesituatie) en peilverlaging tot 60 cm –mv met drains voor respectievelijk de drainlengtes 120, 300 en 450 m. De figuren 15 en 16 hebben betrekking op behandelingen die bij Steenman zijn uitgevoerd, waarbij in figuur 15 een vergelijking is gemaakt tussen wel en geen drains (40 m) bij een slootpeil van 60 cm en waarbij in figuur 16 een vergelijking is gemaakt tussen het verlaagde peil zonder drains (referentiesituatie) en peilverhoging tot 60 cm –mv met drains (40 m).

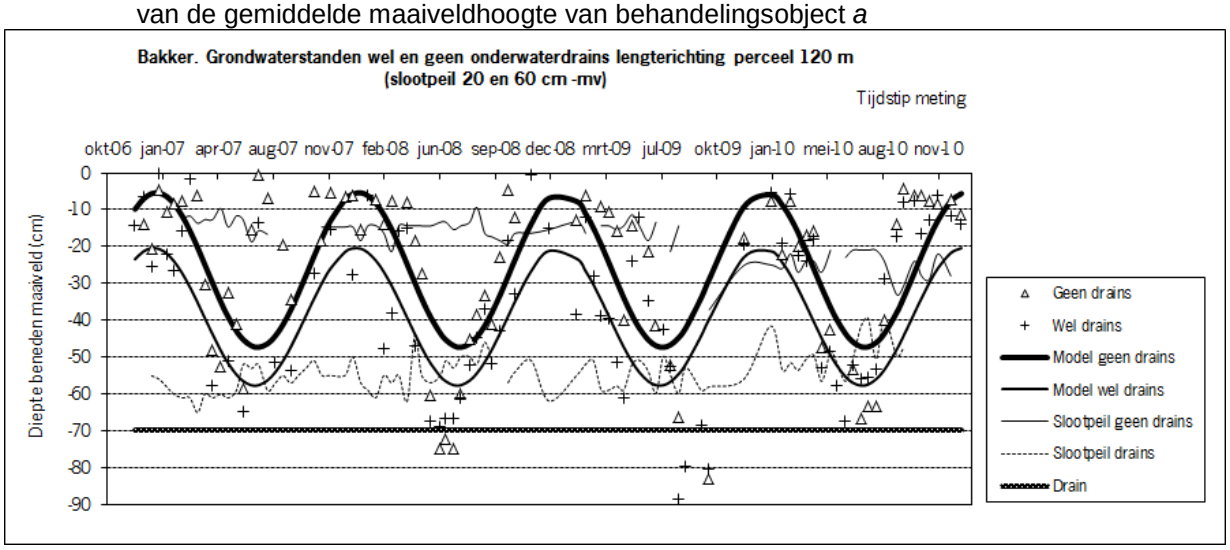
Figuur 10 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Bakker voor de behandelingen *b*) Peil 60 cm -mv zonder drains en *c*) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *b*



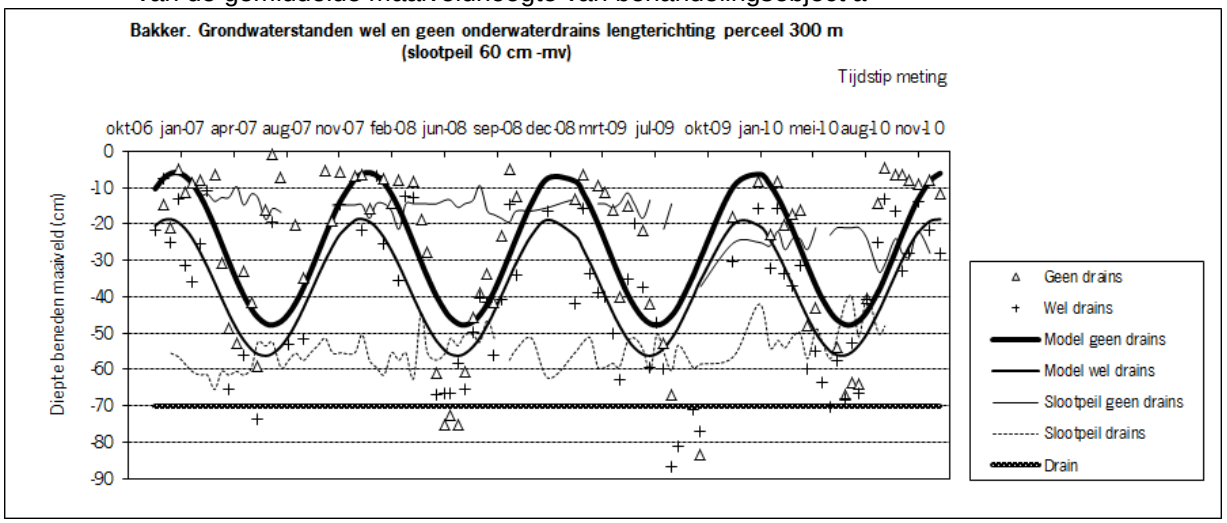
Figuur 11 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Bakker voor de behandelingen b) Peil 60 cm -mv zonder drains en *d*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 120 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *b*



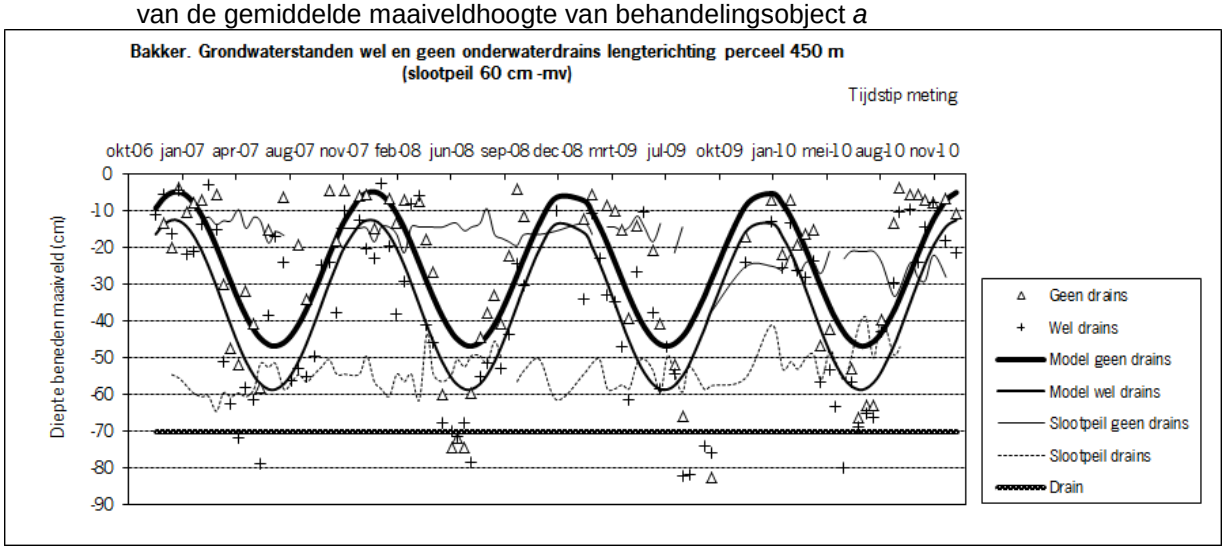
Figuur 12 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Bakker voor de behandelingen *a*) Boezempeil zonder drains en *d*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 120 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *a*



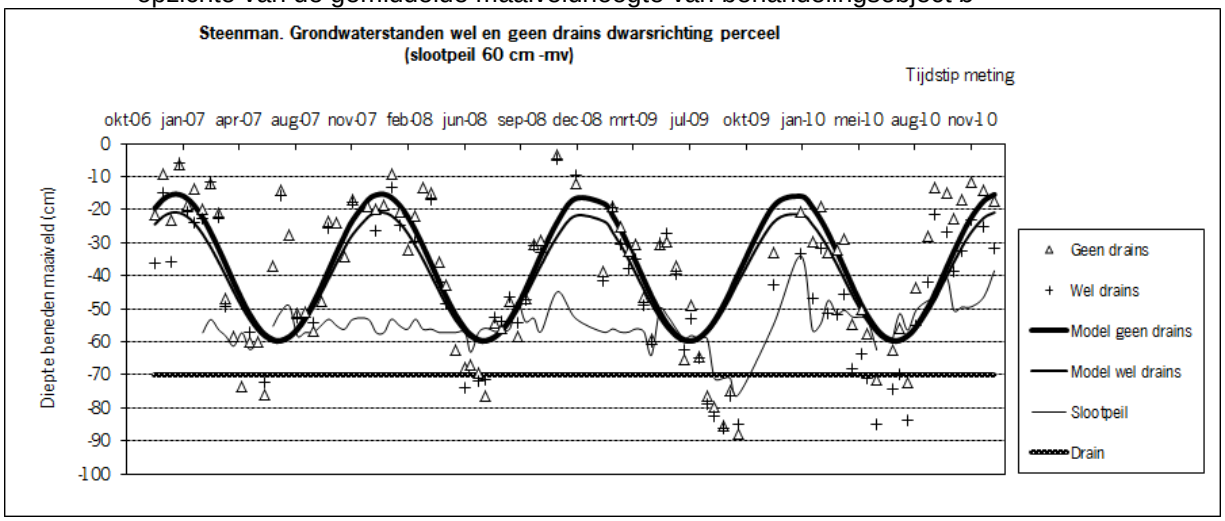
Figuur 13 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Bakker voor de behandelingen *a*) Boezempeil zonder drains en *e*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 300 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *a*



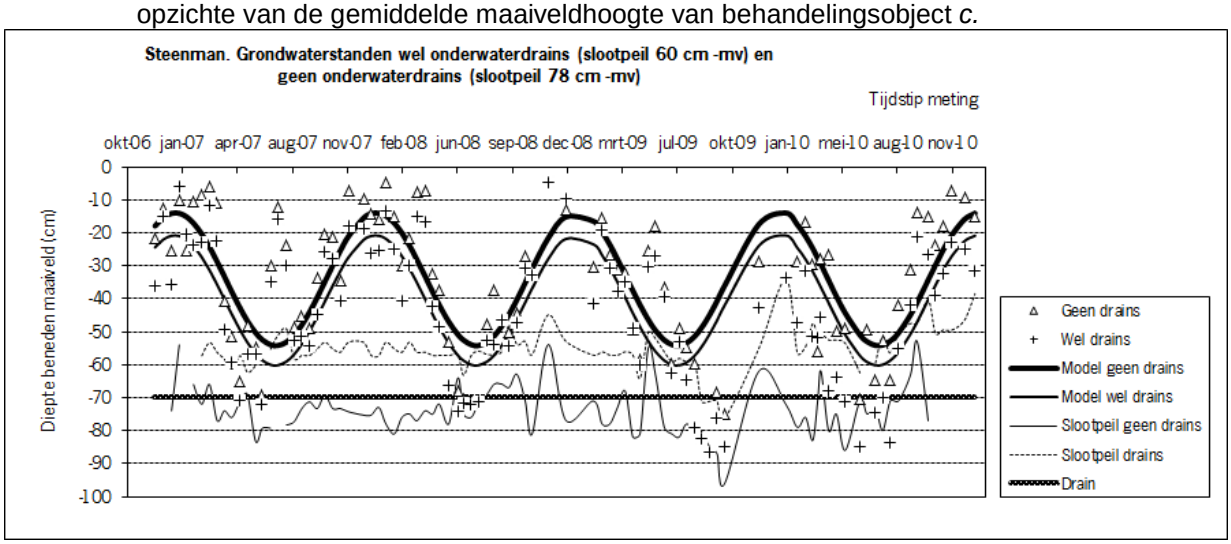
Figuur 14 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Bakker voor de behandelingen *a*) Boezempeil zonder drains en *e*) Peil 60 cm -mv drains lengterichting 450 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *a*



Figuur 15 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Steenman voor de behandelingen *b*) Peil 60 cm -mv zonder drains en *c*) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *b*



Figuur 16 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Steenman voor de behandelingen c) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m en g) Peil 78 cm -mv zonder drains ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandelingsobject *c.*



Op het bedrijf van Bakker blijkt uit een vergelijking van de gefitte modellen dat bij alle drainbehandelingen de wintergrondwaterstand lager was dan die van de ongedraineerde behandelingen. Dit was enerzijds de consequentie van de vrij forse slootpeilverlaging van ongeveer 35 cm en anderzijds de consequentie van de toepassing van onderwaterdrains. De verlaging bij de drainlengte van 450 m was beperkter dan die bij de kortere drainlengtes. Bij een verlaagd slootpeil waren de zomergrondwaterstanden met en zonder drains (40 en 120m) volgens de modellen ongeveer gelijk, ondanks het verschil in wintergrondwaterstanden. De vergrote afvoer in het winterhalfjaar leidde dus niet tot een extra daling in de zomer en dit betekent dat de drains de grondwaterstanden nivelleren. Bij het polderpeil (zonder drains) waren de gemodelleerde zomergrondwaterstanden ongeveer 10 cm hoger dan die bij het verlaagde peil met drains.

Op het bedrijf van Steenman blijkt uit een vergelijking van de gefitte modellen dat drainage bij een verhoogd peil van 60 cm –mv een extra verlaging van de winter grondwaterstand tot gevolg heeft en dat de zomergrondwaterstanden gelijk zijn. De individuele meetpunten laten zien dat de zomergrondwaterstand bij onderwaterdrains en de ongedraineerde situatie tot 2009 praktisch gelijk waren maar in 2010 voor de gedraineerde situatie lager waren. Ten opzichte van de referentiesituatie behandeling *g*) Peil 78 cm -mv zonder drains hadden onderwaterdrains een algeheel verlagend effect op de grondwaterstand, dus zowel in het winterhalfjaar als in het zomerhalfjaar. De verwachting was dat de peilverhoging de waterafvoer verminderde en de watertoevoer vergrootte, waardoor in het algemeen de grondwaterstanden zouden stijgen. Dit bleek niet het geval, wat mede verklaard wordt door de relatief natte situatie van het perceel met het lage slootpeil van 78 cm –mv (zie discussie).

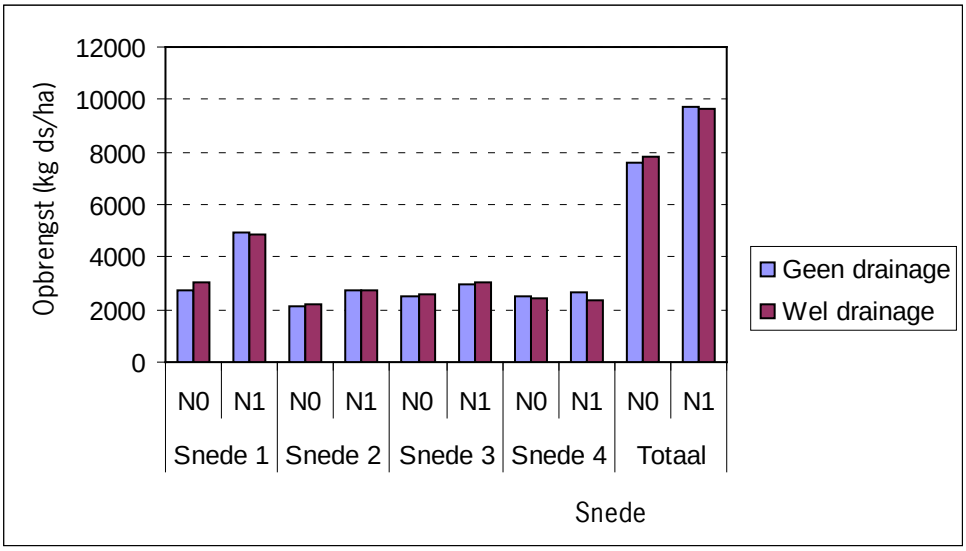
3.5 Grasopbrengsten

Drogestofopbrengst

In figuur 17 staan de gemodelleerde gemiddelde drogestofopbrengsten per behandeling over de gehele proefperiode van 2 jaar. Het valt op dat de totale opbrengsten weinig verschilden en dat in snede 1 zonder N-bemesting (N0) de opbrengst van de gedraineerde objecten hoger was dan de opbrengst van de niet gedraineerde objecten. Bij de bemeste objecten (N1) waren daarentegen de opbrengsten voor beide drainbehandelingen nagenoeg gelijk. In bijlage 3 staan de werkelijke opbrengsten per behandeling per jaar.

Door aanwezigheid van veel ridderzuring is de opbrengst van de eerste snede in 2007 niet bepaald. De ridderzuring is bestreden en vormde later in de proef geen probleem meer.

Figuur 17 Drogestofopbrengst (kg ha^{-1}) gras gemiddeld per snede en totaal met en zonder onderwaterdrains en wel en geen stikstofbemesting (N0, N1). Het betreft de gemodelleerde gemiddelde opbrengsten van 2007 en 2008, uitgezonderd de eerste snede in 2007



Het effect van onderwaterdrains op de jaaropbrengst is statistisch getoetst. Binnen de toets van wel of geen toepassing van onderwaterdrains is gekeken naar (interactie)verschillen tussen de hoofdbehandelingen N-bemesting en drains. De analyse is uitgevoerd met REML (Genstat 6 Committee, 2002). In tabel 6 staan de overschreidingskansen (P-waarden) van de statistische toetsing. N-bemesting had een zeer sterk significant effect (P < 0,001) op de drogestofopbrengst van de eerste drie sneden en de totale opbrengst, zoals te verwachten was gezien het grote verschil in N-niveau. De drainbehandelingen hadden geen effect op de opbrengst, zoals dit in het onderzoek op Zegveld wel het geval was (zie discussie). Alleen voor de eerste snede was de interactie tussen de hoofdbehandelingen significant verschillend (P < 0,05). Dit betekent dat het opbrengstverschil tussen de gedraineerde objecten en de ongedraineerde objecten bij N0 aanwijsbaar groter was dan bij N1.

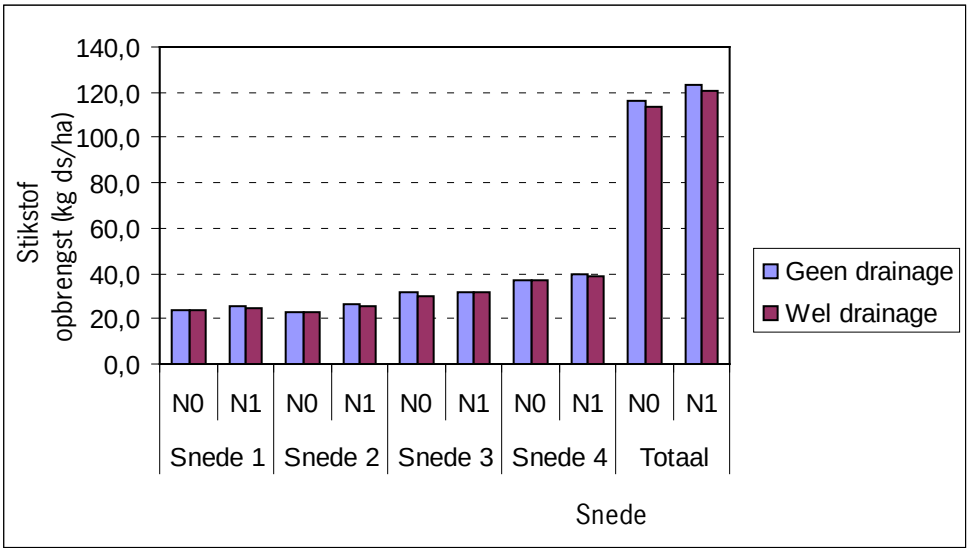
Tabel 6 Overschreidingskansen (P-waarden) statistische toetsing drogestofopbrengst voor de hoofdbehandelingen N-bemesting en onderwaterdrains en het interactie-effect hiertussen

Behandeling	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal
N-bemesting	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,488	< 0,001
Drains	0,490	0,551	0,140	0,072	0,667
N-bemesting.drains	0,029	0,225	0,908	0,468	0,141

Stikstofopbrengst

In figuur 18 staat de gemodelleerde stikstofopbrengst (kg ha^{-1}) gras gemiddeld per snede en totaal met en zonder onderwaterdrains en wel en geen stikstofbemesting (N0, N1) in 2008. Door het wegvallen van de eerste snede in 2007 hebben we verder in dat jaar geen N-gehalte laten bepalen van de grasmonsters. Alleen bij de totalen is een verschil in N-opbrengst van enkele kilo's te zien waarbij zowel voor de behandelingen N0 en N1 de opbrengsten van de gedraineerde objecten lager was als die van de ongedraineerde objecten. Hoewel het verschil tussen de drainbehandelingen klein is, is de lagere N-opbrengst van de gedraineerde objecten mogelijk wel een aanwijzing voor een vermindering van de veenafbraak.

Figuur 18 N-opbrengst (kg ha^{-1}) gras gemiddeld per snede en totaal met en zonder onderwaterdrains en wel en geen stikstofbemesting (N0, N1). Het betreft uitsluitend de gemodelleerde opbrengsten van 2008



In tabel 7 staan de overschreidingskansen (P-waarden) van de statistische toetsing. N-bemesting had een significant (P< 0,05) tot zeer sterk significant effect (P < 0,001) op de N-opbrengst. De totale opbrengst kon niet getoetst worden, doordat in 2007 de eerste snede ontbrak. Verder was het effect van drains significant in snede 1 en snede 3 en was het interactie-effect N-bemesting.drains in snede 3 significant. Telkens was de opbrengst bij drainage een fractie lager dan zonder drainage, waarbij het effect van wel of geen N-bemesting niet eenduidig was. Uiteindelijk was de N-opbrengst op jaarbasis in de gedraineerde situatie slechts enkele kilo's lager dan in de ongedraineerde situatie.

Tabel 7 Overschreidingskansen (P-waarden) statistische toetsing N-opbrengst voor de hoofdbehandelingen N-bemesting en onderwaterdrains en het interactie-effect hiertussen. De totale jaaropbrengst kon niet getoetst worden door het ontbreken van de eerste snede in 2007

Behandeling	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal
N-bemesting	0,004	0,001	0,014	< 0,001	-
Drains	0,050	0,709	0,011	0,309	-
N-bemesting.drains	0,797	0,995	0,050	0,160	-

4 Bedrijfseconomische berekening

4.1 Uitgangspunten bedrijfseconomische berekening

Op basis van de bedrijven Bakker en Steenman is een karakteristiek melkveebedrijf gedefinieerd. De bedrijfsgrootte en de opzet van het bedrijf zijn in de doorgerekende varianten van drooglegging en het wel of niet toepassen van onderwaterdrains gelijk gehouden. We zijn uitgegaan van een toekomstgericht melkveebedrijf met een melkgift per koe van circa 7700 liter en de mestwetgeving volgens de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat in 2009. De invloed van vernatting op het graslandgebruik is doorgerekend volgens de Waterpas-systematiek. Dit is een systematiek waarbij met meerdere modellen de veranderingen in de waterhuishouding van de bodem, de grasgroei, de benutting van het gras en het graslandgebruik geïntegreerd wordt berekend.
De verandering van de grasopname bij weiden en de verandering van de ruwvoerpositie werden vertaald in een toe- of afname van kosten voor de aankoop van ruw- en krachtvoer en een verandering van loonwerkkosten voor mest uitrijden en oogstwerkzaamheden.

In de waterpassystematiek zoals we die op dit moment toepassen wordt eerst per droogleggingvariant op dagbasis de vochtspanning in de bovengrond (13,75 cm –mv) berekend met het simulatie model Soil-Water-Atmosphere-Plant (SWAP), waarna vervolgens (nabewerking) met het BedrijfsBegrotingsProgramma Rundveehouderij (BBPR) de vochthuishouding van de bovengrond tot uitdrukking komt in het graslandgebruik en de bedrijfseconomie. Het graslandgebruik wordt berekend met de VoederVoorzieningsWijzer (VVW), dat onderdeel uitmaakt van BBPR. In deze studie is voor BBPR versie 1104 gebruikt. In Bijlage 5 beschrijven we de modellen die in Waterpas gebruikt worden.

Er is gekozen om de berekeningen uit te voeren voor de weerjaren 1992- 2001, om een voldoende variatie tussen droge en natte jaren te krijgen, wat tevens aansluit bij de gebruikte weerreeks in eerdere studies. De berekeningen zijn uitgevoerd met weergegevens uit 1992 tot en met 2001 van het weerstation De Bilt. De uitkomsten van de berekeningen met SWAP staan in de figuren 1 tot en met 5 van Bijlage 6.

Grasproductie en graslandgebruik
Vernatting heeft een grote invloed op het graslandgebruik, afhankelijk van het tijdstip van vernatting in het jaar. De bodem blijft in het vroege voorjaar langer nat waardoor de bemesting van de eerste snede uitgesteld wordt door een te geringe draagkracht voor berijding met een trekker en bemestingsapparatuur. Tevens warmt de bodem minder snel op, waardoor de mineralisatie van organisch gebonden stikstof minder snel op gang komt. Door vernatting gaan dus groeidagen verloren waardoor de grasproductie vermindert. De mogelijkheden voor weiden en maaien gedurende het groeiseizoen zijn sterk weersafhankelijk en worden, naast het grasaanbod, grotendeels bepaald door de draagkracht van de bodem. Hierdoor kan men vooral onder natte omstandigheden met een lage draagkracht niet altijd op het gewenste tijdstip oogsten of beweiden. Door een toenemende groeiduur gaat de voederwaarde van het gras dat op het land blijft staan achteruit. Een grote hoeveelheid gras bij beweiding vermindert de benutting, omdat er meer vertrapping plaatsvindt (Beuving *et al.*, 1989; Akker *et al*., 1993 en Holshof *et al.*, 1994).

Afhankelijk van de duur van een natte periode en het aantal percelen met een lage draagkracht kan een veehouder genoodzaakt zijn om vee langer op stal te houden of tussentijds op te stallen. In het najaar stalt men vee in het algemeen eerder op door vernatting. Door een langere stalperiode zijn de kosten voor ruwvoer en mest uitrijden hoger. Bovengenoemde negatieve consequenties van vernatting hebben gevolgen voor de bedrijfsvoering en verminderen het bedrijfsresultaat. Graslandgebruik, grasproductie en voederwaarde in relatie tot de directe vochtvoorziening van het gras zijn in de bedrijfsberekeningen meegenomen. Ruwvoorraden (graskuil) worden hierbij tussen de weerjaren uitgewisseld; overschotten aan graskuil worden benut in jaren met een tekort.

Economisch bedrijfsresultaat
In deze studie lichten we de posten toe waar een verandering van de kosten plaatsvindt en presenteren we niet de volledige bedrijfsbegroting per droogleggingvariant. De opbrengsten zijn namelijk voor alle varianten gelijk omdat het aantal melkkoeien, de melkproductie per koe en het aantal stuks jongvee gelijk zijn gehouden. Het verschil in bedrijfsresultaten wordt zodoende volledig bepaald door een verschil in kosten. In de berekeningen wordt het rantsoen voor de melkkoeien

zodanig aangepast dat het opgegeven melkproductieniveau gehaald wordt. Zo is het mogelijk (binnen bepaalde marges) om een verminderde voederwaarde van gras in het rantsoen te compenseren door meer krachtvoer te verstrekken. De loonwerktarieven zijn gelijk gehouden. In de discussie wordt hier verder op ingegaan. We hebben geen extra vergoeding voor de eventuele toename van eigen arbeid berekend. Vergoedingen voor beheersovereenkomsten ter compensatie van verhoogde kosten door vernatting zijn niet meegenomen. We hebben geen rekening gehouden met de kosten voor grond (rente, waterschapslasten e.d.) die door verminderde productie per hectare over minder opbrengst van eigen bedrijf verdisconteerd moeten worden.

Het economische bedrijfsresultaat wordt sterk beïnvloed door een verandering van de voedervoorziening op het bedrijf. Hierdoor veranderen de kosten voor voeraankoop, loonwerk en kunstmestkosten. In het algemeen stijgen de kosten voor voeraankoop bij een lagere netto grasproductie en dalen de kosten voor bemesting en loonwerk. In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat tekorten worden aangevuld door ruwvoer aan te kopen en dat overschotten worden verkocht in de vorm van graskuil. In werkelijkheid worden overschotten gebruikt om tekorten in volgende jaren te compenseren, mits de overschotten niet te groot zijn en van jaar op jaar accumuleren. De maximale opslag van ruwvoer ten opzichte van het verbruik ruwvoer bedroeg zodoende 30%. Eventueel resterende hoeveelheden werden verkocht.

Bedrijfsopzet
Voor het modelbedrijf zijn we uitgegaan van een melkveebedrijf dat de bedrijfskenmerken benadert van de bedrijven Bakker en Steenman (zie tabel 8). Voor de aanvang van het onderzoek had het bedrijf Bakker te maken met een structureel ruwvoertekort door de relatief zeer beperkte drooglegging van 20 cm -mv. Ter compensatie van dit ruwvoertekort heeft Bakker extra land gehuurd en werden diverse bijproducten gevoerd waaronder aardappelzetmeel. Modeltechnisch is het doorrekenen van relatief lage melkproductieniveaus in combinatie met redelijk veel bijvoeding namelijk nauwelijks uitvoerbaar, omdat het (herziene) Koemodel gebaseerd is op hoog productief melkvee dat relatief gemakkelijk hogere productieniveaus realiseert. Voor de uitgangssituatie (geringe drooglegging) was de ruwvoerproductie ontoereikend voor zelfvoorziening en werd het tekort aangevuld met snijmaïs. Zodoende hebben we, vergeleken met het bedrijf Bakker, in het modelbedrijf gekozen voor een hoger melkproductieniveau van 7700 liter per koe per jaar en een iets lager melkproductie per ha (9000 liter per ha), zodat bij een grotere drooglegging gemiddeld over de gekozen 10 weerjaren de zelfvoorziening voor ruwvoer circa 100% was. Gekozen is voor een standaard bijvoedingniveau in de zomer van 5 kg drogestof snijmaïs per koe per dag. Hierdoor werd de weidegang beperkt. Het bijvoedingniveau in de winter werd afhankelijk gesteld van de beschikbare hoeveelheid graskuil. Een verandering van de ruwvoerpositie had zodoende direct invloed op het economische bedrijfsresultaat; bij een vergroting van het tekort nemen de kosten voor ruwvoeraankoop toe en bij een verkleining van het tekort nemen de kosten voor ruwvoeraankoop af.

Tabel 8 Kengetallen van de melkveebedrijven Bakker en Steenman en de daarvan afgeleide kenmerken voor het modelbedrijf

Algemene bedrijfsgegevens		Bakker	Steenman	Modelbedrijf
Jaar mestwetgeving		2009	2009	2009
Melkras koeien	(stuks)	108	58	70
Kalveren	(stuks)	25	28	25
Pinken	(stuks)	25	22	23
Melkquotum	(kg)	600.000	450.000	540.000
Vetpercentage van de melk	(%)	4,13	4,17	4,15
Eiwitpercentage van de melk	(%)	3,67	3,65	3,65
Oppervlakte grasland	(ha)	64,33	40	60
Melkproductie/koe (levering melkfabriek)	(kg/mk)	5556	7759	7700
Melkproductie per ha				

Varianten
De varianten die we hebben doorgerekend sluiten aan bij de hoofdbehandelingen a, b, c en g en waren als volgt:

a) Niet gedraineerd drooglegging 20 cm
b) Niet gedraineerd drooglegging 60 cm
c) Gedraineerd drooglegging 60 cm
g) Niet gedraineerd drooglegging 80 cm

Verondersteld is dat de drooglegging over het gehele bedrijfsareaal gelijk is. In tabel 9 staan per variant de uitgangspunten voor de berekeningen met VVW die betrekking hebben op de netto voeropname door melkgevende koeien, de grondwatertrapgegevens, de vroegste gebruiksdatum van het grasland, het aantal velddagen bij voederwinning, het stikstofleverend vermogen van de bodem (NLV), het beweidingsysteem en het bijvoedingniveau voor melkvee.

Tabel 9 Uitgangspunten berekeningen VVW betreffende de vreetdiepte, de drogestofopname door de melkgevende koeien, de reductie van de energiewaarde van gras (VEM), de grondwatertrap (Gt), gemiddeld hoogste grondwatertrap (GHG), de vroegste gebruiksdatum, het aantal velddagen bij voederwinning, het stikstofleverend vermogen van de bodem (NLV), het beweidingsysteem en het bijvoedingsniveau voor melkvee

	Periode	Niet gedraineerd drooglegging 20 cm	Niet gedraineerd drooglegging 60 cm	Gedraineerd drooglegging 60 cm	Niet gedraineerd drooglegging 80 cm
Correctie vreetdiepte (cm)		+2	0	0	0
Drogestofopname door melkkoeien (kg)		-200	0	0	0
Drogestofopname door melkkoeien	Tot 1 juni	88	0	0	0
(% van 1700 kg ds/ha)	Na 1 juni	88	0	0	0
Reductie energiewaarde gras (VEM/kg ds)		100	0	0	0
Gt		II	II	II	II
GHG (cm –mv)		5	10	20	15
Datum bemesting eerste snede		7 maart	25 februari	25 februari	25 februari
Vroegste gebruiksdatum		1-apr	1-apr	1-apr	1-apr
Aantal velddagen na maaien		3	2	2	2
NLV-klasse BBPR		2	1	1	1
Beweidingsysteem		Beperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt
Bijvoeding snijmaïs melkvee (kg)		5	-	-	-

4.2 Resultaten

Technische resultaten
De gemiddelde resultaten 1992-2001 per variant staan in tabel 10. Daarbij staan kengetallen voor de ruwvoerproductie (grasproductie voor kuilvoer), de voeropname van melkvee en de aankoop van voer. De variatie ten opzichte van het gemiddelde (standaardafwijking = gemiddelde variatie) is daarbij ook weergegeven. De effecten van verschil in drooglegging en wel of geen onderwaterdrains op de voedervoorziening staan in bijlage 7 per variant per weerjaar (1992-2001); tabellen B1.1; B1.3; B1.5; B1.7.
Doordat het gemiddelde hoeveelheden en percentages betreft over een reeks van 10 weerjaren is het mogelijk dat er zowel voer (graskuil) werd verkocht als aangekocht. Dit komt door de variatie in zelfvoorziening tussen de jaren. Bij een zelfvoorzieningsgraad van meer dan 100% wordt gemiddeld meer ruwvoer verkocht dan aangekocht en bij een zelfvoorzieningsgraad kleiner dan 100% wordt gemiddeld meer ruwvoer gekocht dan verkocht. Het aandeel maaien wordt uitgedrukt in een percentage. Bij een maaipercentage van 100% worden alle percelen gemiddeld eenmaal per jaar gemaaid.

De referentiesituatie variant *a*) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm' had een zelfvoorziening voor ruwvoer van gemiddeld 76 %. Bij de gegeven bedrijfsopzet had het modelbedrijf dus een structureel ruwvoertekort waardoor relatief veel voer in de vorm van snijmaïs aangekocht moest worden. Ten opzichte van de referentiesituatie steeg bij variant *b*) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm' de zelfvoorziening voor ruwvoer naar 88% en was bij de varianten *c*) 'Gedraineerd drooglegging 60 cm' en *g*) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm' de zelfvoorziening nagenoeg 100 %. De verhoging van de zelfvoorzieningsgraad zijn deels een gevolg van een verhoging van de netto grasproductie en deels een gevolg van een efficiënter grasland gebruik.

Tabel 10 Voedervoorziening van het model melkveebedrijf bij de varianten *a*) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm', *b*) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm', *c*) 'Gedraineerd drooglegging 60 cm' en *g*) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm' berekend met VVW gemiddeld over de periode 1992-2001. De standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde staat weergegeven (getal)

		a		b		c		g	
Grasland									
Stikstofjaargift grasland	(kg/ha)	158	(23)	144	(17)	151	(15)	155	(17)
Bruto opbrengst grasland	(kg ds/ha)	8550	(1227)	9382	(1064)	10122	(1035)	9874	(1098)
Netto opbrengst grasland	(kVEM/ha)	5062	(885)	6507	(932)	7088	(895)	7104	(971)
Energie-inhoud graskuil	(VEM/kg ds)	796	(34)	900	(21)	899	(17)	907	(18)
Maaipercentage 1e snede	(%)	67	(7)	63	(5)	63	(4)	65	(2)
Maaipercentage overige sneden	(%)	93	(46)	112	(49)	125	(49)	145	(50)
Maaipercentage totaal	(%)	160	(47)	174	(52)	188	(52)	209	(51)
Kuilopbrengst	(ton ds)	260	(68)	270	(52)	294	(60)	290	(57)
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	(%)	76	(22)	88	(19)	99	(19)	99	(20)
Voeropname melkkoe p/jaar									
Weidegras	(ton ds)	1309	(82)	1839	(204)	1961	(206)	1991	(258)
Ruwvoer	(ton ds)	4029	(361)	3490	(175)	3403	(176)	3405	(181)
Krachtvoer	(ton)	1364	(502)	1086	(149)	1065	(118)	1024	(138)
Aankoop voer									
Ruwvoer totaal	(ton ds)	104,4	(98,4)	53,9	(54,8)	32,6	(44,4)	35,6	(42,9)
Graskuil	(ton ds)	1,6	(4,9)	28,8	(41)	14,7	(31,1)	16,2	(30)
Snijmaïs	(ton ds)	81,7	(80,5)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
Overige ruwvoeders	(ton ds)	21,1	(14,9)	25,2	(15,6)	17,9	(13,7)	19,5	(13,5)
Krachtvoer totaal	(ton)	112,9	(40,1)	83,7	(11,8)	82	(9,2)	78,9	(10,6)
Verkoop voer									
Verkoop graskuil	(ton ds)	0	(0)	2,2	(4,2)	13,5	(17,8)	12,8	(22,5)

Economische resultaten

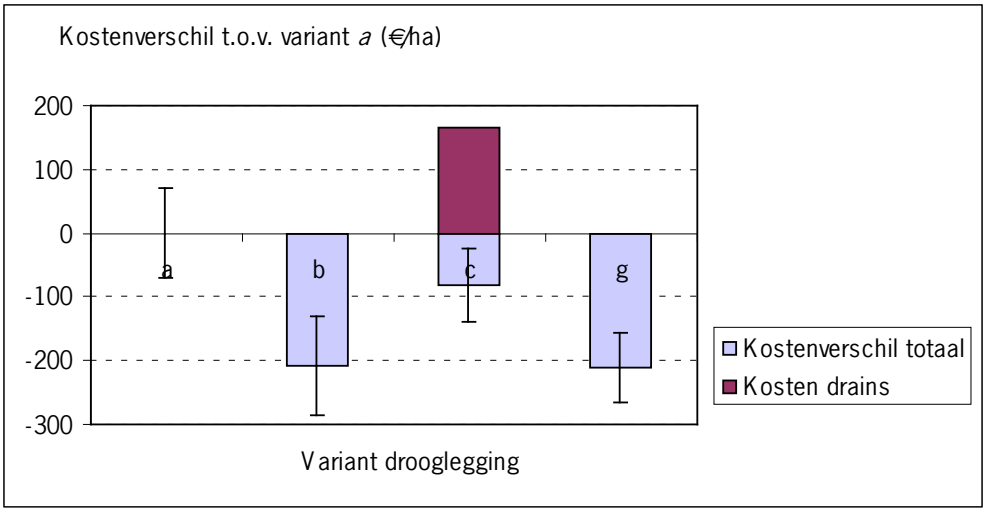
In tabel 11 staan de staan zowel de totale bedrijfskosten als de kosten per ha per variant. Het betreft de kosten voor voer, kunstmest, loonwerk en onderwaterdrains. De standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde is weergegeven. De kosten per ha zijn berekend door de totale kosten te delen door de gehele bedrijfsoppervlakte van 60 ha. De kosten voor onderwaterdrains betreft de jaarlijkse kosten voor afschrijving, rente en onderhoud. De kosten voor drainage zijn nader gespecificeerd in paragraaf 7.4. De effecten op de kosten per variant per weerjaar (1992-2010) staan in Bijlage 1; Tabellen B1.2; B1.4; B1.6.

Tabel 11 Kosten voor de varianten *a*) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm', *b*) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm', *c*) 'Gedraineerd drooglegging 60 cm' en *g*) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm', totaal voor het gehele bedrijf en per hectare gemiddeld over de weerjaren 1992-2001. De standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde is weergegeven. Zie voor nadere specificatie kosten onderwaterdrains paragraaf 7.4.

		a		b		c		g	
Bedrijf totaal									
Voer	(€)	35586	(6976)	22870	(6102)	19474	(5728)	19385	(5497)
Kunstmest (N)	(€)	5265	(1114)	5344	(1346)	5936	(1148)	6513	(1759)
Loonwerk	(€)	23488	(4106)	23634	(4142)	24134	(3927)	25831	(3417)
Onderwaterdrains	(€)	-	-	-	-	9900	-	-	-
Totaal	(€)	64339	(4201)	51848	(4612)	59444	(3511)	51729	(3288)
Per hectare									
Voer	(€/ha)	593	(116)	381	(102)	325	(95)	323	(92)
Kunstmest (N)	(€/ha)	88	(19)	89	(22)	99	(19)	109	(29)
Loonwerk	(€/ha)	391	(68)	394	(69)	402	(65)	431	(57)
Onderwaterdrains	(€/ha)	-	-	-	-	165	-	-	-
Totaal	(€/ha)	1072	(70)	864	(77)	991	(59)	862	(55)

Ten opzichte van de referentiesituatie variant *a*) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm' namen de kosten voor de overige drie varianten aanzienlijk af door een verbeterde drooglegging. Een afname van de kosten komt ten goede aan het bedrijfsinkomen. De verschillen tussen de varianten worden voornamelijk bepaald door een verschil in aankoop van voer. Het verschil in totale kosten (€.ha^{-1}) voor de varianten *b*, *c* en *g* ten opzichte van de referentiesituatie staat in figuur 19 voor de weerjaren 1992-2001. De standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde is weergegeven. Bij variant *c* staan de kosten op jaarbasis voor onderwaterdrains (zie paragraaf 7.4).

Figuur 19 Verandering totale kosten per hectare voor de varianten *b*) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm', *c*) 'Gedraineerd drooglegging 60 cm' en *g*) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm' ten opzichte van de referentiesituatie *a*) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm'. Het gemiddelde en de standaardafwijking is weergegeven voor de periode 1992-2001. Bij variant *c* staan de kosten voor onderwaterdrains



Voor variant *b*) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm' daalden de totale kosten met € 208,- door een stijging van de zelfvoorziening voor ruwvoer van 12%. Voor variant *c* was de kostenverlaging € 82,- per ha, inclusief de kosten voor onderwaterdrains (€ 165,-). De kostenverlaging voor variant *c* zou € 246,- bedragen exclusief de kosten voor onderwaterdrains. De voerkosten werden namelijk sterk verlaagd door een verbetering van de zelfvoorziening voor ruwvoer (tot nagenoeg zelfvoorzienend) en de kunstmest- en loonwerkkosten stegen beperkt door een hogere grasproductie. Voor variant *g*) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm' daalden de totale kosten met € 210,-, waarmee de kostenbesparing vergelijkbaar was met variant *b*. De kostenbesparing op de aankoop van voer bij variant *g* was

vergelijkbaar met variant *c*, maar de kosten voor kunstmest en loonwerk waren hoger door een hoger maaipercentage. De kuilopbrengst was daarbij van hetzelfde niveau, wat betekent dat bij deze variant lichtere sneden werden gemaaid. Het hogere maaipercentage zorgde voor hogere kunstmest- en loonwerkkosten. De verbetering van de zelfvoorziening voor ruwvoer bij de varianten *g* en *c*, vertaalde zich in een kleinere variatie rondom de gemiddelde kosten ten opzichte van de referentiesituatie *a* en variant *b*. Dit betekent dat door een verbetering van de zelfvoorziening het bedrijfsrisico werd verlaagd.

5 Discussie

5.1 Modellering grondwaterstanden

De wiskundige modellering en statistische analyse van de meetgegevens zijn vooral gericht op het doen van algemene uitspraken over de behandelingen: type drains, drainafstanden en slootpeil. Daartoe zijn de gegevens sterk geaggregeerd. In de eerste stap van de analyse is het verloop in de tijd weergegeven met een sinusoïde, met slechts drie parameters, waarbij verschillen tussen jaren afwezig zijn verondersteld. Maar ook binnen jaren zijn afwijkingen van de sinusoïde niet gedetailleerd gemodelleerd. In de tweede stap van de analyse zijn gemiddelden van deze parameters per behandeling geschat, waarbij heterogeniteit binnen het perceel als ruis (gecorreleerde random effecten) is beschouwd. Deze aanpak volstaat om over de behandelingen op verantwoorde wijze uitspraken te doen, maar dat neemt niet weg dat de meetgegevens nog veel meer informatie over de variatie in tijd en ruimte omvatten. Het verdient aanbeveling om de dynamische aspecten van de verschillende drainmethoden diepgaander te bestuderen en daarbij gebruik te maken van dynamische hydrologische (transfer-)modellen. Daarbij kan ook de relatie met actuele neerslag– en temperatuurgegevens bekeken worden. In het kader van precisielandbouw kan die studie bruikbare ideeën opleveren om met grondwatergestuurd peilbeheer de grasproductie en het graslandgebruik te optimaliseren.

5.2 Effect onderwaterdrains op de grondwaterstand

Het referentieperceel op het bedrijf Steenman met het slootpeil van 74 cm –mv bleek relatief nat. Hiervoor is overigens geen duidelijke reden aan te geven. Een alternatief voor dit perceel was niet voor handen, waardoor een vergelijking met een relatief diep ontwaterde situatie niet mogelijk bleek. Dit geeft wel aan dat er naast behandelingseffecten ook duidelijk sprake kan zijn van perceelsinvloeden. Zo blijkt in de vergelijking van de behandelingen *b* (slootpeil 60 cm –mv zonder drains) en behandeling *c* (slootpeil 60 cm –mv met drains) dat op het proefperceel bij Steenman het verschil tussen de zomer- en wintergrondwaterstanden groter was (minder afvlakten) dan het verschil tussen de winter- en zomergrondwaterstanden op het proefperceel bij Bakker.

De onderwaterdrains leken beter te draineren (verlaging wintergrondwaterstand) dan te infiltreren (verhoging zomergrondwaterstand), maar in de meetperiode van vier jaar was het aantal droge perioden beperkt waardoor het effect moeilijk exact te kwantificeren is. De mate van infiltratie is namelijk sterk afhankelijk van het verdampingsoverschot in het zomerhalfjaar. In het onderzoek op Zegveld (Hoving et al., 2008) bleek gemiddeld over de gehele proefperiode (2004-2007) dat het drainerende effect van onderwaterdrains bij het lagere peil (15 à 20 cm -mv) ongeveer twee keer zo hoog was als het infiltrerende effect bij het hoge peil (55 cm –mv). Ook in dit onderzoek kwamen relatief weinig droge perioden voor.
In tabel 12 staan de (gemodelleerde) hoogste en laagste grondwaterstanden voor de hoge en lagere slootpeilen met en zonder drains uit het onderzoek op Zegveld en van locatie Bakker uit het onderzoek in polder Zeevang. In polder Zeevang waren bij het hoge peil geen onderwaterdrains aangelegd, waardoor van deze combinatie geen grondwaterstanden bekend zijn. In tabel 12 zijn ook de grondwaterstanden aangegeven voor een slootpeil dat tussen het hoge en lage slootpeil in ligt. Deze gemiddelden geven een indruk van de grondwaterstanden zoals ze er in theorie hadden uitgezien bij een slootpeil van 35 cm. Daarvoor werden de waarden die onbekend zijn voor de combinatie onderwaterdrains en het hoge peil in polder Zeevang (was geen behandeling) afgeleid met behulp van de resultaten van de betreffende behandeling uit het onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld (zie bijschrift tabel 12).

Tabel 12 Gemodelleerde hoogste en laagste grondwaterstanden (cm –mv) uit het onder zoek op Zegveld (Hoving et al., 2008) en uit het onderzoek in polder Zeevang locatie Bakker. Bij het hoge peil in polder Zeevang waren geen onderwaterdrains aangelegd en waren de betreffende grondwaterstanden dus onbekend

	Drooglegging (cm –mv)	Zonder onderwaterdrains (cm –mv)		Met onderwaterdrains (cm –mv) [1)]	
		Hoogste grondwaterstand	Laagste grondwaterstand	Hoogste grondwaterstand	Laagste grondwaterstand
Zegveld					
hoog	19	18	38	15	34
laag	50	21	54	34	52
Gemiddeld	35	20	46	25	43
Polder Zeevang					
hoog	18	4	46	-	-
laag	52-56	11	54	21	57
Gemiddeld	35	10	51	14[2)]	49[2)]

1) Voor de resultaten uit het onderzoek op Zegveld is uitgegaan van een drainafstand van de 8 m en de drainafstand in polder Zeevang bedroeg 6 m

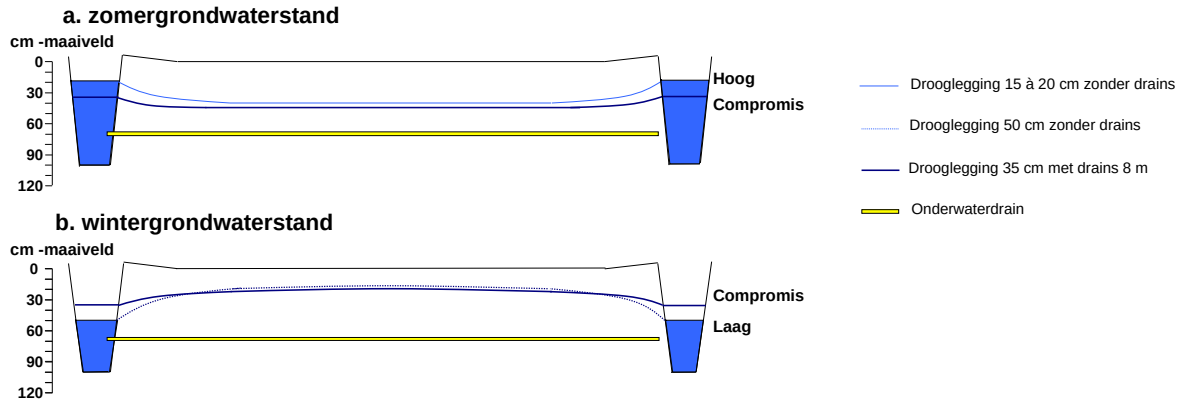
2) Voor het bepalen van de hoogste en laagste grondwaterstand bij een gemiddelde drooglegging van 35 cm met onderwaterdrains zijn de onbekende grondwaterstanden bij het hoge peil afgeleid uit de gegevens van Zegveld door gebruik te maken van respectievelijk de verhouding tussen de hoge grondwaterstanden met en zonder onderwaterdrains en de verhouding tussen de lage grondwaterstanden met en zonder onderwaterdrains.

Voor zowel het onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld als in polder Zeevang laten de grondwaterstanden uit tabel 12 zien dat:

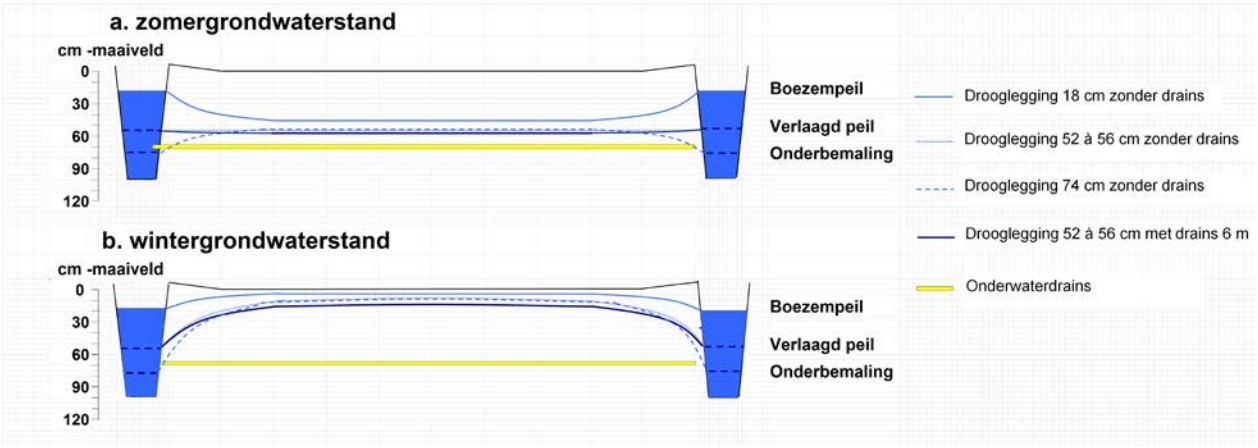
a) de laagste grondwaterstanden bij de hoge peilen zonder drains in de buurt liggen van de laagste grondwaterstanden bij de gemiddelde peilen met drains;
b) de hoogste grondwaterstanden bij de lage peilen zonder drains in de buurt liggen van de hoogste grondwaterstanden bij de gemiddelde peilen met drains.

Dit betekent dat bij een ‘compromispeil’ met drains een vergelijkbare maaiveldaling haalbaar is als bij een hoog peil zonder drains en een vergelijkbare draagkracht van de graszode haalbaar is tijdens natte perioden als bij een laag peil zonder drains. Voor de locaties Zegveld en polder Zeevang zakt naar verwachting (niet gemeten) bij een ‘compromispeil’ van 35 cm –mv met drains de zomergrondwaterstand weinig verder uit dan bij een hoog peil van 15 à 20 cm –mv zonder drains en stijgt de wintergrondwaterstand tot een vergelijkbaar niveau als die bij een lager peil van 50 à 55 cm –mv zonder drains. Ofwel, de gemiddelde peilen vormen in theorie het maximaal te bereiken compromis tussen het beperken van vernatting en het beperken van maaivelddaling.
Aanvullend onderzoek is gewenst om deze theorie te toetsen. In figuur 20 en 21 zijn de effecten van de compromispeilen voor respectievelijk de onderzoeken Zegveld en polder Zeevang weergegeven in een schematische dwarsdoorsnede van een perceel.
Overigens zullen boeren alleen in onderwaterdrains willen investeren wanneer de drooglegging aanmerkelijk verbeterd.

Figuur 20 Schematische dwarsdoorsnede van een perceel met a) de laagste zomergrondwaterstand voor een 'compromispeil' van 35 cm -mv en voor een hoog peil van 15 à 20 cm –mv en met b) de hoogste wintergrondwaterstand een 'compromispeil' van 35 cm en voor een lager peil van 50 à 55 cm –mv uit onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld (Hoving et al., 2008)



Figuur 21 Schematische dwarsdoorsnede van een perceel met a) de laagste zomergrondwaterstand voor een 'compromispeil' van 35 cm -mv en voor een hoog peil van 15 à 20 cm –mv en met b) de hoogste wintergrondwaterstand een 'compromispeil' van 35 cm en voor een lager peil van 50 à 55 cm –mv uit het onderzoek in polder Zeevang



De mate van maaivelddaling is sterk gerelateerd aan de diepste zomergrondwaterstanden en het is daarom van belang om ook de werkelijk gemeten laagste grondwaterstanden tussen de behandelingen te vergelijken. Bij een vergelijking van de behandelingen met en zonder drains en een slootpeil van 55 cm –mv werden in 2007 en 2008 de diepste grondwaterstanden gemeten bij de behandeling zonder drains, echter in 2009 en 2010 werden de diepste grondwaterstanden gemeten bij de behandelingen met drains (40 m en 120 m), waarbij bij de drains van 120 m lengte het verschil opliep tot 5-10 cm. In de vergelijking van grondwaterstanden bij polderpeil zonder drains en verlaagd peil met drains lagen de diepste grondwaterstanden relatief dicht bij elkaar ondanks het slootpeilverschil. In 2007 waren de grondwaterstanden bij de drains wel aanzienlijk lager, mede omdat het verschil tussen polderpeil en verlaagd peil relatief groot was. De grondwaterstand nam daarbij toe met de drainlengte en was bij 450 m het diepst. In 2010 waren alleen bij 450 m drains de grondwaterstanden lager dan die bij het polderpeil. Vanuit het oogpunt van maaivelddaling kan bij toepassing van onderwaterdrains het uitzakken van de grondwaterstanden verder beperkt worden door het slootpeil minder te verlagen.

5.3 Effect onderwaterdrains op de grasopbrengsten

De totale drogestofopbrengst werd niet of nauwelijks beïnvloed door de behandeling met wel of geen drains. Wel was er een verlagend effect van drainage op de N-opbrengst van enkele kilo's. De meetperiode was echter tekort om goed zicht te krijgen op het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengsten en de N-levering uit de bodem. De resultaten over het verschil in N-opbrengst lagen overigens wel in de lijn met de onderzoeksresultaten van het onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld (Hoving et al., 2008).
Hier waren de verschillen groter en was er zowel een effect op de droge stofopbrengst als op de N-opbrengst.

In Zegveld daalde door de onderwaterdrains de grasopbrengst op de onbemeste objecten bij zowel het hoge als het lage slootpeil (-580 kg ds) en op bemeste veldjes alleen bij het hoge slootpeil (-950 kg ds). Bovendien nam op Praktijkcentrum Zegveld de stikstoflevering af door de onderwaterdrains, zowel bij het hoge als bij het lage peil. Dit duidt op een verminderde veenafbraak. Hoewel dit geen direct bewijs is, lijken de resultaten de hypothese te bevestigen dat onderwaterdrains kunnen bijdragen aan de remming van veenafbraak. In Zegveld was op de bemeste veldjes de opbrengstderving minimaal, omdat de lagere stikstoflevering gedeeltelijk (hoog slootpeil) of volledig (laag slootpeil) werd gecompenseerd door een hogere N-benutting van de stikstofbemesting. De hogere benutting van N-meststof betekent een verlaging van het milieuverlies.

5.4 Economische berekening

Modellen
Het verschil in grasproductie tussen de varianten is direct gerelateerd aan het verschil in GHG. Relatief hoge GHG leiden tot een grotere reductie van de groei door natschade. Deze reductie wordt via de verkorte Helptabel in VVW (zie bijlage 6) middels vaste percentages aan de berekening van de grasgroei opgelegd. Ofwel, wat je in het model stopt, komt er ook weer uit. Het streven is om in de nabije toekomst de hydrologie en de grasgroei direct aan elkaar te koppelen door de berekening van het model SWAP en het grasgroeimodel (onderdeel VVW) te integreren. Intussen is een nieuw grasgroeimodel beschikbaar waarbij de grasgroei afhankelijk is gesteld van de vochttoestand van de bodem. Ondanks de modelmatige beperking geeft de familie Bakker aan dat de berekende verbetering van de voerpositie na peilverlaging en het gebruik van onderwaterdrains goed benaderd wordt.

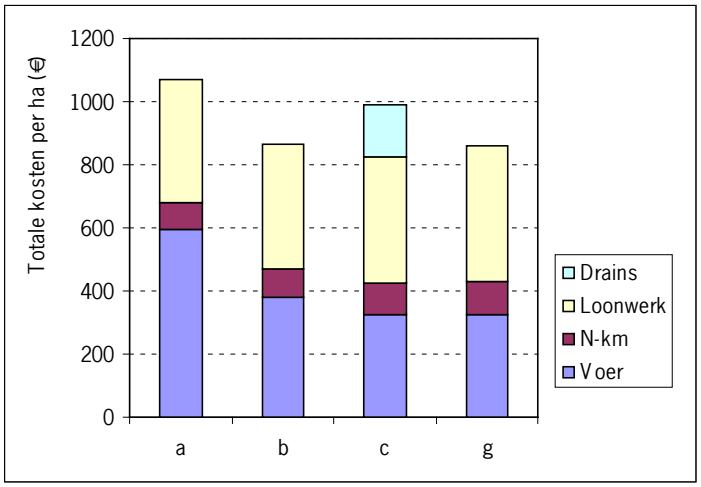
Technische resultaten
Er was op het bedrijf sprake van een structureel voertekort. Hoewel dit niet exact te achterhalen is, werd bij benadering een kwart van de ruwvoerbehoefte aangekocht. Deze situatie komt overeen met de berekende zelfvoorziening voor ruwvoer voor het modelbedrijf van 76%. Het bedrijf Bakker is nu inderdaad zelfvoorzienend voor ruwvoer en de voederwaarde van het gras is merkbaar hoger. Er waren weliswaar geen analyseresultaten van de voederwaarde bekend, maar ervaren werd dat de graskuil veel beter werd opgenomen. Dit duidt op een hogere verteerbaarheid en energiewaarde. Daarbij werd met een lager bijvoedingniveau minimaal hetzelfde melkproductieniveau per koe gerealiseerd.

De zelfvoorziening voor ruwvoer was voor de varianten *c* en *g* exact gelijk. De ruwvoerproductie kwam echter wel verschillend tot stand. Het maaipercentage was bij variant *g* namelijk hoger dan bij variant c. Dat betekent dat bij variant g de ruwvoerproductie minder efficiënt tot stand kwam dan bij variant *c* (lichtere sneden). De inefficiëntie ontstond vooral ten tijde van vernatting. Het voorkomen van lichtere sneden betekent dat er vaker gras gemaaid wordt om voldoende ruimte voor beweiding te creëren (voorkomen zware weidesneden). Door een lagere GHG bij variant c werd in natte perioden de kritische grens voor beweiding eerder bereikt waardoor de ruimte voor beweiding net iets groter was.

Economische resultaten
De verlaging van de kosten berekend voor de varianten *b*, *c* en *g* ten opzichte van de referentiesituatie betrof uitsluitend een besparing van kosten op voeraankoop (ruwvoer en krachtvoer). Voor variant *g* werd een vergelijkbare besparing van de voerkosten gerealiseerd als bij variant *c*, echter de kunstmest- en loonwerkkosten waren aanmerkelijk hoger dan bij de andere varianten door vaker maaien. De totale kosten voor variant g waren hierdoor vergelijkbaar met variant *b*. Ondanks het

lagere peil leverde variant *g* dus geen kostenvoordeel op ten opzichte van variant *b*. In figuur 22 zijn de kosten voor loonwerk, voor N-kunstmest en voor de aankoop van voer weergegeven per variant per ha. De hogere voerkosten bij variant *b* werden uitgewisseld tegen de hogere loonwerkkosten voor variant *g*, waardoor de totale kosten voor beide varianten nagenoeg gelijk zijn.

Figuur 22 Totale kosten per hectare voor de varianten *b*) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm', *c*) 'Gedraineerd drooglegging 60 cm' en *g*) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm' gedifferentieerd voor loonwerk, stikstofkunstmest, voer en onderwaterdrains (variant *c*)



Aangezien de totale kosten voornamelijk bepaald worden door de voer- en loonwerkkosten, zijn de economische resultaten erg afhankelijk van de het prijsniveau voor voer en de tarieven voor loonwerk. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid hiervoor, zijn de resultaten nogmaals berekend bij een 25% lagere en een 50% hogere aankoopkosten voor ruwvoer. De kostprijs van ruwvoer is hoog en ligt relatief dicht bij de marktprijs. Aangezien in de referentiesituatie de aankoop van voer grotendeels uit ruwvoer bestaat is de reductie van de voerkosten beperkt tot 25%. Naast het verhogen en verlagen van de kosten voor voeraankoop werden de loonwerkkosten voor de varianten a en b verhoogd met respectievelijk 20 en 10%. Dit verschil in kosten benadert het verschil in loonwerktarieven in de praktijk. Onder natte(re) omstandigheden wordt namelijk de capaciteit voor mestuitrijden en voederwinning beperkt, waardoor de tarieven hoger liggen. De resultaten staan in tabel 13.

Tabel 13 Verschil totale kosten (€.ha^{-1}) voor de varianten b) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm', c) 'Gedraineerd drooglegging 60 cm' en g) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm' ten opzichte van de referentiesituatie a) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm' voor de weerjaren 1992-2001 bij een 25% lagere en een 50% hogere ruwvoerkosten en al of geen hogere loonwerkkosten[1)]

Correctie voerprijs (%)	-25		0		50	
Differentiatie loonwerkkosten[1)]	nee	ja	nee	ja	nee	ja
a) Niet gedraineerd drooglegging 20 cm	0	0	0	0	0	0
b) Niet gedraineerd drooglegging 60 cm	-155	-194	-208	-247	-314	-353
c) Gedraineerd drooglegging 60 cm	-179	-258	-247	-325	-381	-459
g) Niet gedraineerd drooglegging 80 cm	-143	-221	-210	-288	-345	-423

[1)] De loonwerkkosten zijn voor variant a en b verhoogd met respectievelijk 20 en 10%

Een verandering van voer- en loonwerkkosten vergrote of verkleinde het verschil tussen de varianten a, b en c of a, b en g. Het verschil tussen de varianten c en g blijft gelijk, omdat enerzijds de ruwvoerpositie gelijk is en daarmee de hoeveelheid voeraankoop en omdat anderzijds de loonwerkkosten voor deze varianten niet gedifferentieerd zijn.
De berekende verschillen tussen de varianten gelden voor het gegeven modelbedrijf en de specifieke omstandigheden op veengrond. Vergeleken met een optimale omstandigheid, zoals bijvoorbeeld in de Flevopolder, is het bedrijfsresultaat op veengrond in het algemeen een behoorlijk stuk lager. In de Vos et al. (2004) werd voor een veenweidebedrijf ten opzichte van een vergelijkbaar bedrijf op kleigrond met uitsluitend gras een jaarlijkse reductie van het netto bedrijfsresultaat berekend van € 388,-/ha, door de onvoldoende ontwatering, de suboptimale verkaveling, en de suboptimale bedrijfsstructuur in het veenweidegebied.

Tot voorkort had vooral het bedrijf Bakker te maken met een forse leverbotinfectie van het rundvee door de hoge slootpeilen en de natte omstandigheden. De bestrijding van de parasiet is lastig en brengt extra kosten (ongeveer € 6,- per koe per jaar) en extra arbeid met zich mee. Daarbij heeft de chronische besmetting een negatieve invloed op de gezondheid en de productie van het melkvee. Het is onduidelijk in hoeverre door een verbetering van de drooglegging op termijn de behandeling tegen leverbotinfectie stopgezet kan worden, aangezien de percelen reeds besmet zijn.

6 Conclusies

- Peilverlaging (± 35 cm) op het bedrijf Bakker had een relatief beperkt verlagend effect op de grondwaterstanden.
- Peilverhoging (± 17 cm) op het bedrijf Steenman had tegen de verwachting in geen verhogend effect maar een verlagend effect op de grondwaterstanden. Een verklaring hiervoor is dat het referentieperceel voor het oorspronkelijk lage peil onvoldoende representatief bleek (breder en daardoor natter).
- Onderwaterdrains hadden bij alle behandelingen (drainlengtes 40, 120, 300 en 450 m) een extra grondwater verlagend effect in het winterhalfjaar ten opzichte van peilverlaging, zowel ten opzichte van de ongedraineerde situatie bij het polderpeil als ten opzichte van de ongedraineerde situatie bij het peil 60 cm –mv.
- De werking van de drains nam af met de drainlengte. Tot 300 m was sprake van een afvlakking van het grondwaterstandsverloop; bij een drainlengte van 450 m nam het verschil tussen zomer- en wintergrondwaterstanden toe.
- Het drainerende effect van onderwaterdrains was groter dan het infiltrerende effect, maar dit is afhankelijk van de mate van verdroging die optreedt (was relatief beperkt) en van de hoogte van het slootpeil
- Uit zowel het eerdere onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld als het onderzoek in polder Zeevang zal volgens berekening bij een peil van 35 cm –mv en het toepassen van onderwaterdrains de zomergrondwaterstand weinig verder uitzakken als bij een hoog peil van 15 à 20 cm –mv zonder drains en zal de wintergrondwaterstand tot een vergelijkbaar niveau stijgen als bij een lager peil van 50 à 55 cm –mv zonder drains
- De gemiddeld iets lagere N-opbrengsten op jaarbasis bij onderwaterdrains ten opzichte van de ongedraineerde situatie (slootpeil 60 cm –mv) zijn mogelijk een aanwijzing voor verminderde veenafbraak. De resultaten liggen in dezelfde lijn als het eerder onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld. Door de korte onderzoeksperiode kunnen nog geen concrete uitspraken gedaan worden over het effect van onderwaterdrains op de maaivelddaling.
- Volgens de modelmatige economische bedrijfsberekening met Waterpas werden door het vergroten van de drooglegging van 20 naar 60 cm de totale kosten met € 208,- per ha verlaagd. Een vergroting van 20 naar 80 cm leverde een vergelijkbare kostenbesparing op van € 210,- per ha, echter de kosten kwamen wel anders tot stand (lagere voerkosten en hogere loonwerkosten). Het vergroten van de drooglegging naar 60 cm in combinatie met het toepassen van onderwaterdrains leverde een kostenreductie op van € 82,- per ha, inclusief de kosten voor draineren. Exclusief de kosten voor draineren zou de kostenreductie € 247,- bedragen, ongeveer € 40,- per ha meer dan bij de varianten *b* en *g* met een vergrote drooglegging
- Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Dit is bij relatief hoge slootpeilen tussen de 30 à 60 cm –mv. Bij hogere slootpeilen dan 30 cm –mv leiden onderwaterdrains niet tot een verbetering van de ontwatering door een te gering drukverschil tussen het (hoge) grondwaterniveau en het slootpeil.

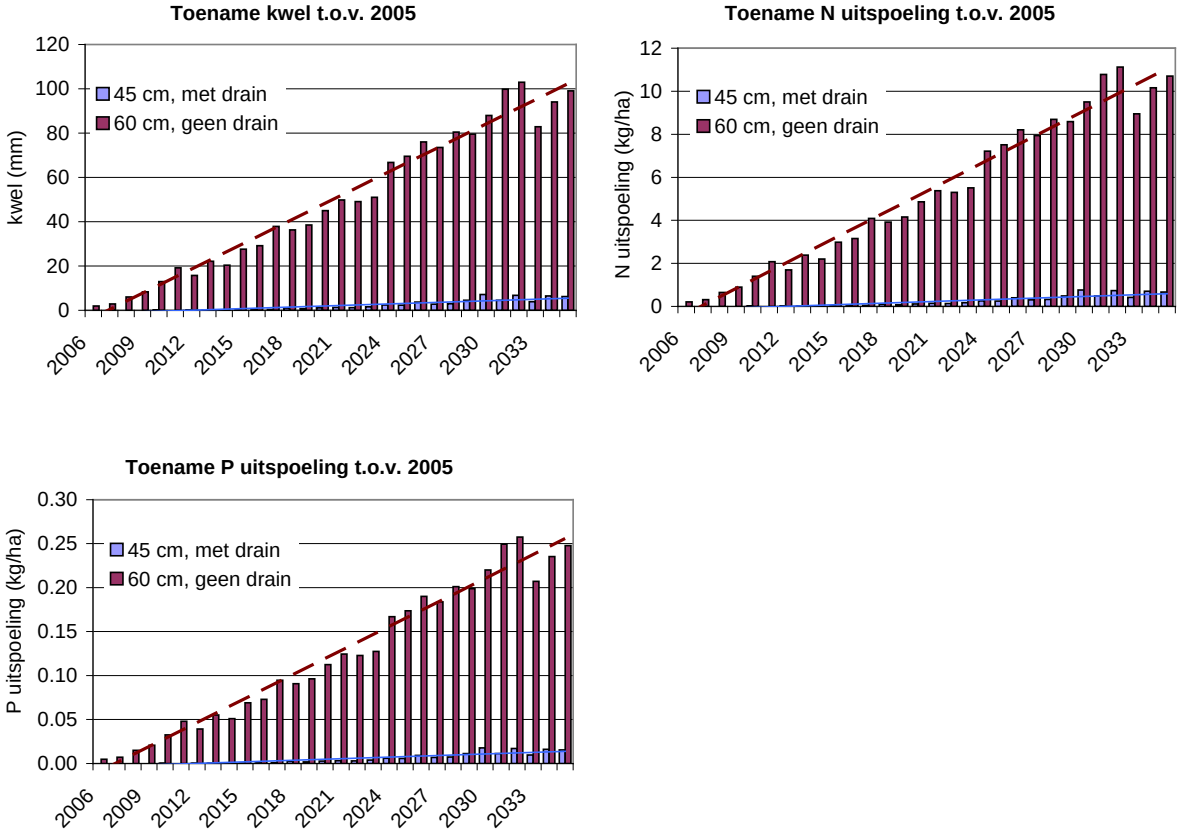
7 Praktijktoepassing

7.1 Betekenis voor de praktijk

De toepassing onderwaterdrains maakt peilveranderingen ‘bespreekbaar’. Het verlagen van hoge peilen hoeft geen nadeel op te leveren voor bodemdaling en het verhogen van lage peilen hoeft geen nadeel op te leveren voor het graslandgebruik. Voor agrarische ondernemers is een investering alleen interessant bij een voldoende drainerende werking. Dit betekent dat het slootpeil niet hoger mag worden dan 30 cm –mv. Bij peilverhoging kunnen grasopbrengsten dalen door verlaging van de N-levering en vermindering van de N-benutting. Daarentegen kunnen bij peilverlaging de grasopbrengsten toenemen en wordt naar verwachting het aantal weidedagen vergroot. Zeker in het najaar wordt dan het herfstgras beter benut.

Grootschalig gebruik van onderwaterdrains beïnvloedt de waterhuishouding op gebiedsniveau door een grotere aan- en afvoer van water. Hierdoor wordt meer gebiedsvreemd water met gebiedseigen water uitgewisseld. Het is nog onduidelijk wat hiervan het effect is op de waterkwaliteit en in hoeverre dit indirect de veenafbraak beïnvloedt, bijvoorbeeld door een hogere concentratie carbonaat en sulfaat in het gebiedsvreemde water. Vanuit Waterschappen en provincies reageren daarom tot dusver terughoudend op grootschalige toepassing in de praktijk. We verwachten echter dat in ieder geval op lange termijn onderwaterdrains positief bijdragen aan de waterkwaliteit, omdat we door vertraging van de bodemdaling minder snel te maken krijgen met een verslechtering van de waterkwaliteit door nutriëntrijke kwel. In figuur 23 staat voor perceel 3 op Praktijkcentrum Zegveld de berekende toename van kwel ten opzichte van 2005 en de toenemende stikstof- en fosforuitspoeling (N- en P-uitspoeling) als gevolg hiervan.

Figuur 23 Berekende toename van de nutriënterijke kwel, N-uitspoeling en P-uitspoeling door de voortdurende maaivelddaling, result aten modelberekening perceel Zegveld 3. De nutriëntenconcentraties in het kwelwater zijn 12 mg N-totaal / L en 0,25 mg P-totaal / L



Door de voortdurende maaivelddalingen en het aanpassen van de slootpeilen aan de maaivelddaling, veranderen veengebieden die vanoudsher inzijggebieden waren, langzamerhand in kwelgebieden. De percelen in het onderzoek op Zegveld met een laag slootpeil, zoals de percelen 2 en 3, hebben daardoor momenteel een lichte kwel, terwijl bij de percelen 11 en 13 met een hoog slootpeil nog steeds voornamelijk inzijging optreedt.
Bij de beschouwing van de nutriëntenuitspoeling moeten we bedenken dat de nutriëntenconcentraties in het kwelwater in veengebieden sterk kunnen verschillen. Zo vond Hendriks (1993) in de polder Bergambacht concentraties in het kwelwater van 0,5 – 25 mg N-totaal / L en van 0,25 – 2,5 mg P-totaal / L. In een polder in de Lopikerwaard grenzend aan Bergambacht gaat het om 10-16 mg N-totaal / L en 0,3 - 1,7 mg P-totaal / L. Meer naar de kust kan vooral de concentratie van P in het kwelwater hoger zijn.

7.2 Aanleg onderwaterdrains vraagt maatwerk

Het aanleggen van onderwaterdrains vraagt om maatwerk, waarbij de draindiepte en de drainafstand cruciale factoren zijn. Vanuit het perspectief van waterkwaliteit mag de drainage enerzijds niet te hoog (hoger dan 40 cm –mv) gelegd worden om afvoer van nutriënten uit de wortelzone te voorkomen, en anderzijds niet te laag (lager dan 80 cm –mv) om kortsluiting met het diepere nutriëntrijke veenwater en kwel te vermijden. Praktisch gezien is het bereik in diepte waarbinnen de drains aangelegd kunnen worden beperkt, omdat het slootpeil de bovengrens bepaalt en de hoogte van de slootbodem de ondergrens bepaalt. Doorgaans hebben de kavelsloten een beperkte diepte en kan het noodzakelijk zijn om eerst de sloten op diepte te brengen. De keuze van de drainafstand is iets minder kritisch dan de draindiepte. Een drainafstand van 6 m garandeert in de meeste gevallen een voldoende werking.

Vervolgens bepaalt de instelling van het slootpeil het uiteindelijke drainerende en infiltrerende effect van de drains. Relatief hoge peilen (hoger dan 30 cm –mv) benadelen de drainage van bodemvocht waardoor extra vernatting optreedt en relatief lage peilen (lager dan 60 cm –mv) benadelen de infiltratie van slootwater waardoor een effect op de maaivelddaling uitblijft of zelfs negatief is.

Het op cruciale momenten (groot neerslagtekort of –overschot) meebewegen van slootpeilen met de grondwaterstanden moet voorkomen worden, omdat dit het drainerende en infiltrerende effect sterk vermindert. Tegengestelde bewegingen van het slootpeil door bijvoorbeeld toepassing van dynamisch peilbeheer kan de werking van de drains versterken. Hierbij wordt in het zomerhalfjaar bij lage grondwaterstanden het slootpeil verhoogd en in het winterhalfjaar bij hoge grondwaterstanden het slootpeil verlaagd.

Ook verdient de lengte van de drains aandacht. Met een toename van de lengte van de buizen neemt de werking van het systeem af. Tot 300 m buislengte zagen we in polder Zeevang een nivellerende werking van de drains. Bij langere percelen zouden de buizen halverwege een keer onderbroken moeten worden om ze kort te sluiten met de sloot. Het gebruik van buizen met een grotere diameter dan 60 mm is te kostbaar.

7.3 Sleufloos draineren

Op Praktijkcentrum Zegveld had het gebruik van een kettinggraver voor het leggen van de buisdrains als grote nadeel dat de graszode boven de drains werd vernietigd. Door het nazakken van de grond in de sleuven blijft het maaiveld ongelijk, wat hinder oplevert bij alle trekkerwerkzaamheden op de percelen. Dit nadeel kan men ondervangen door het gebruik van een andere machine. Loonbedrijf De Vlijt uit Noord Beemster heeft een draineermachine ontwikkeld voor achter een trekker, die sleufloos de drains in de grond plaatst (figuur 24). Een mes in de vorm van een halve V trekt een sleuf waarbij de bodem beperkt wordt opgelicht. Nadat de sleuf met een trekker is aangereden, is de schade aan de graszode nihil.

Figuur 24 Draineermachine van loonwerkbedrijf De Vlijt uit Noord Beemster, waarmee ook op grasland sleufloos gedraineerd kan worden

7.4 Kosten

In 2006 zijn in polder Zeevang op twee praktijkbedrijven onderwaterdrains aangelegd voor een veldexperiment. Voor de drainage werd een goedkope alternatieve omhulling gebruikt, namelijk gerecyclede bollennetten. Deze omhulling is ontwikkeld door loonwerkbedrijf de Vlijt uit Noord Beemster en wordt in Noord-Holland veel toegepast. De drains werden sleufloos gelegd met de machine die in paragraaf 7.3 is beschreven. De kosten bedroegen in dit project € 1,- per strekkende meter inclusief aanleg (commerciële prijs). Een indicatie van de kosten per ha per jaar ziet er op basis van het project in Polder Zeevang als volgt uit:

Aanschaf (ha)	
Per meter (∅ drainbuis 60 mm)	€ 1,-
Per ha bij drainafstand 6 m	€ 1666,-

Kosten (ha/jaar)	
Afschrijving (25 jaar)	€ 65,-
Rente (4,5 %)	€ 75,-
Onderhoud (1,5 %)	€ 25,-
Totaal	€ 165,-

Grondstof- en energieprijzen veranderen voortdurend. Bij de afweging van de kosten en de baten dient rekening gehouden te worden met actuele prijzen.

Bijlagen

Bijlage 1 Samenvatting onderzoek Zegveld (2004-2007)

In opdracht van het Productschap Zuivel is de toepassing van onderwaterdrains op veengrond onderzocht. Dit is een vorm van drainage, waarbij de drains onder het slootpeil liggen in plaats van daarboven. Hierdoor hebben de drains naar verwachting een nivellerende werking op de grondwaterstand: verlaging van relatief hoge grondwaterstanden (voornamelijk in het winterhalfjaar) en verhoging van relatief lage grondwaterstanden (voornamelijk in het zomerhalfjaar).

De maatschappelijke druk in het veenweidegebied wordt steeds groter om slootpeilen te verhogen ter vermindering van de maaivelddaling. Hogere slootpeilen vertragen het zakken van de grondwaterstand in de zomer (verdampingsoverschot), waardoor de veenafbraak wordt beperkt. In droge zomers worden lage grondwaterstanden niet voorkomen. Oorzaak hiervan is de hoge infiltratieweerstand van veensloten. Landbouwkundig zijn hoge slootpeilen ongewenst, waardoor peilverhoging niet de ultieme oplossing is voor de zakkingproblematiek.

Op Praktijkcentrum Zegveld zijn in het najaar van 2003 onderwaterdrains aangelegd om op een betrouwbare manier het effect hiervan op de hydrologie van de bodem en de grasproductie te kunnen bepalen. De doelstelling van het onderzoek was om te zien of infiltratie van slootwater door middel van drainage een goede mogelijkheid is om zakking van veengrond te beperken met behoud van een rendabele melkveehouderij. Het onderzoek heeft gelopen van 2004 tot en met 2007. Vaste buisdrains (met PPE-omhulling) en eenvoudige moldrains zijn vergeleken met een ongedraineerde situatie. De drainage is aangelegd op twee percelen met een relatief hoog slootpeil van 15 à 20 cm –mv en een ‘laag’ slootpeil van 55 cm –mv. De drains lagen ongeveer 20 á 30 cm beneden het slootpeil bij drie drainafstanden, namelijk 4, 8 en 12 m. Om het effect op de drogestof- en stikstofopbrengst te bepalen zijn twee bemestingsniveaus voor stikstof (N) gehanteerd, namelijk een praktijkniveau (N1) en geen bemesting (N0).
De moldrains bleken niet of nauwelijks te draineren en hebben daarom landbouwkundig geen waarde. Door extra vernatting kunnen moldrains voor de ontwikkeling van natte natuur wel interessant zijn. Vaste buisdrains blijken zowel te draineren als te infiltreren. Het functioneren was daarbij sterk afhankelijk van het slootpeil. Het ‘lage’ peil van 55 cm –mv bevorderde de drainerende werking en het hoge peil van 15 à 20 cm –mv bevorderde de infiltrerende werking. In het algemeen waren de effecten groter bij een kleinere drainafstand. Het drainerende effect bij het lage peil was relatief groter dan het infiltrerende effect bij het hoge peil. Dit kwam niet alleen door de gehanteerde slootpeilen, maar was ook een gevolg van een relatief gering aantal perioden met een neerslagtekort.

De veenafbraak is sterk gerelateerd aan de zomergrondwaterstand; een hogere zomergrondwaterstand vermindert de maaivelddaling. Voor het verhogen van de zomergrondwaterstand kan met onderwaterdrains met een beperkte slootpeilverhoging worden volstaan, zonder dat dit tot extra vernatting leidt. Naar verwachting kan op Praktijkcentrum Zegveld met onderwaterdrains (drainafstand 6 á 8 m) bij een slootpeil van 35 à 40 cm –mv de maaivelddaling teruggebracht worden tot ongeveer 5 mm per jaar. Dit is gelijk aan de maaivelddaling bij het hoge peil en een halvering van de maaivelddaling bij het lage peil zonder drainage.
Een neveneffect van het verminderen van de veenafbraak is een aanzienlijk lagere broeikasgasuitstoot. Bij een slootpeil van 40 cm en toepassing van onderwaterdrains kan de reductie van de totale broeikasgasuitstoot meer dan 20% bedragen.

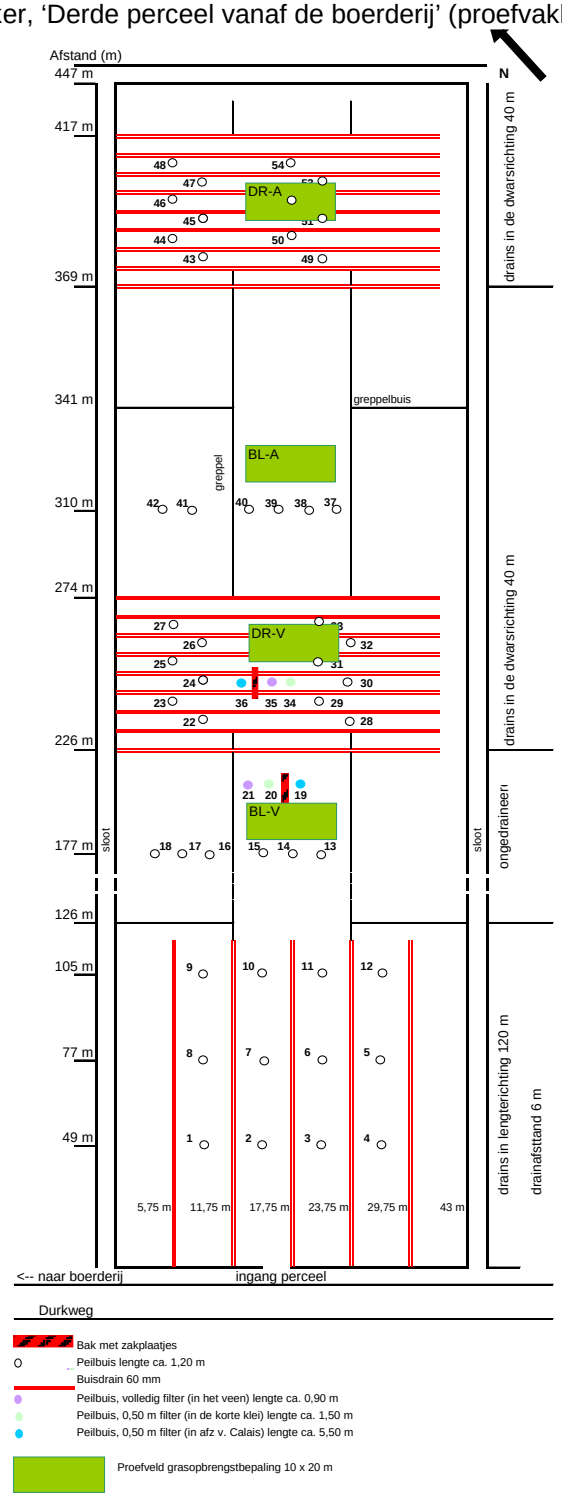
De grasopbrengst en daarmee de N-opbrengst werd op zowel het lage als het hoge peil negatief beïnvloed door een lagere N-levering van de bodem (lagere opbrengst onbemest). De lagere N-levering door onderwaterdrains duidt op een verminderde veenafbraak. Hoewel geen direct bewijs wordt geleverd, bevestigen de resultaten de hypothese dat onderwaterdrains kunnen bijdragen aan de remming van veenafbraak en dus aan een geringere maaivelddaling. Maaiveldhoogtemetingen wezen ook op een geringere maaivelddaling, hoewel door de relatief korte meetperiode geen betrouwbare uitspraak gedaan kan worden over het effect van onderwaterdrains op maaivelddaling.

Het aanleggen van onderwaterdrains vraagt om maatwerk, waarbij de draindiepte en de drainafstand cruciale factoren zijn. Om zowel het gewenst effect te bereiken op infiltratie als drainage is de hoogte van het slootpeil cruciaal. Relatief hoge peilen (hoger dan 30 cm –mv) benadelen de drainage en

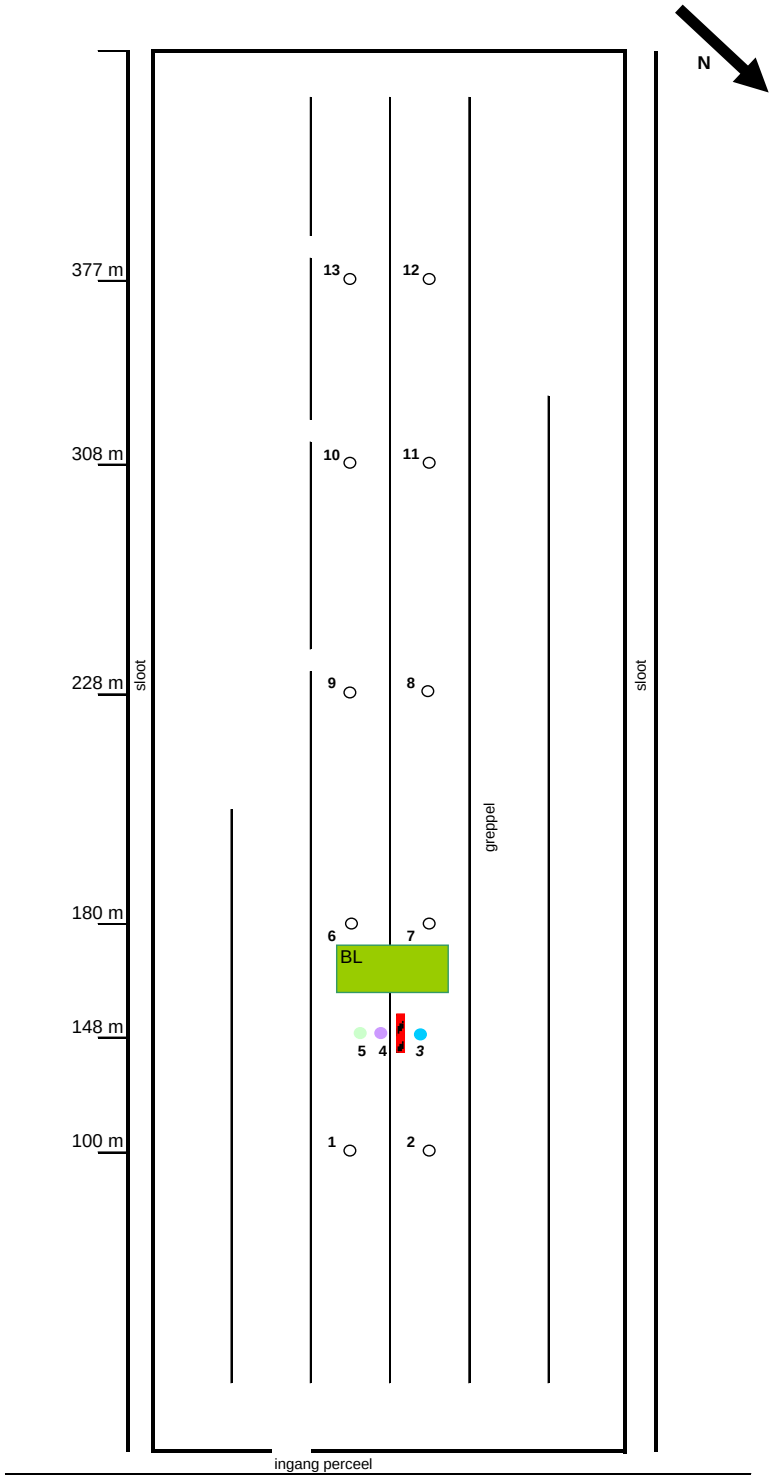
relatief lage peilen (lager dan 60 cm –mv) benadelen de infiltratie. Dynamisch peilbeheer kan de werking van onderwaterdrains versterken door in het zomerhalfjaar bij lage grondwaterstanden het slootpeil te verhogen en door in het winterhalfjaar bij hoge grondwaterstanden het slootpeil te verlagen. Grootschalig gebruik van onderwaterdrains beïnvloedt de waterhuishouding op gebiedsniveau door een grotere aan- en afvoer van water.
Hierdoor wordt meer gebiedvreemd water met gebiedseigen water uitgewisseld. Het is nog onduidelijk wat hiervan het effect is op de waterkwaliteit en in hoeverre indirect de veenafbraak beïnvloed wordt, bijvoorbeeld door een hogere concentratie carbonaat en sulfaat in het gebiedsvreemde water. We verwachten echter dat op lange termijn onderwaterdrains positief bijdragen aan de waterkwaliteit, omdat we door vertraging van de bodemdaling minder snel te maken krijgen met een verslechtering van de waterkwaliteit door nutriëntrijke kwel.

Bijlage 2 Proefveldschema's

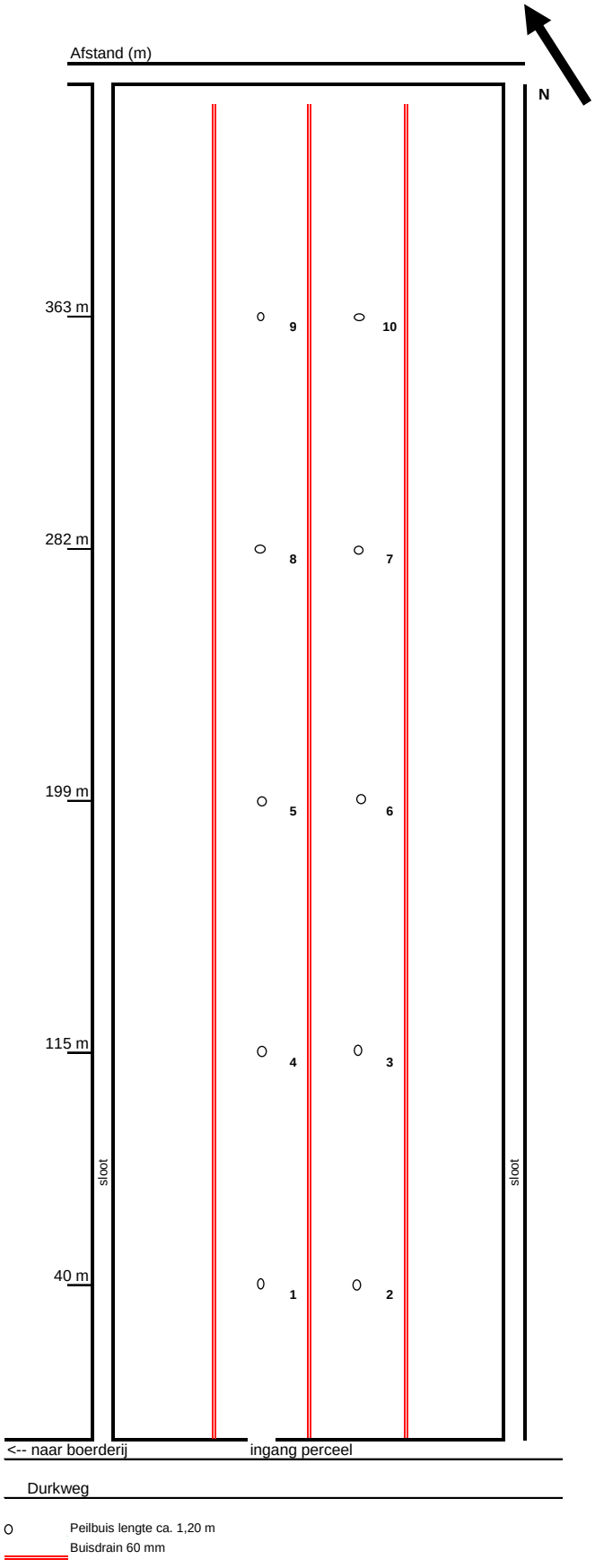
Bakker, 'Derde perceel vanaf de boerderij' (proefvakken met en zonder drains bij peil 60 cm -mv)



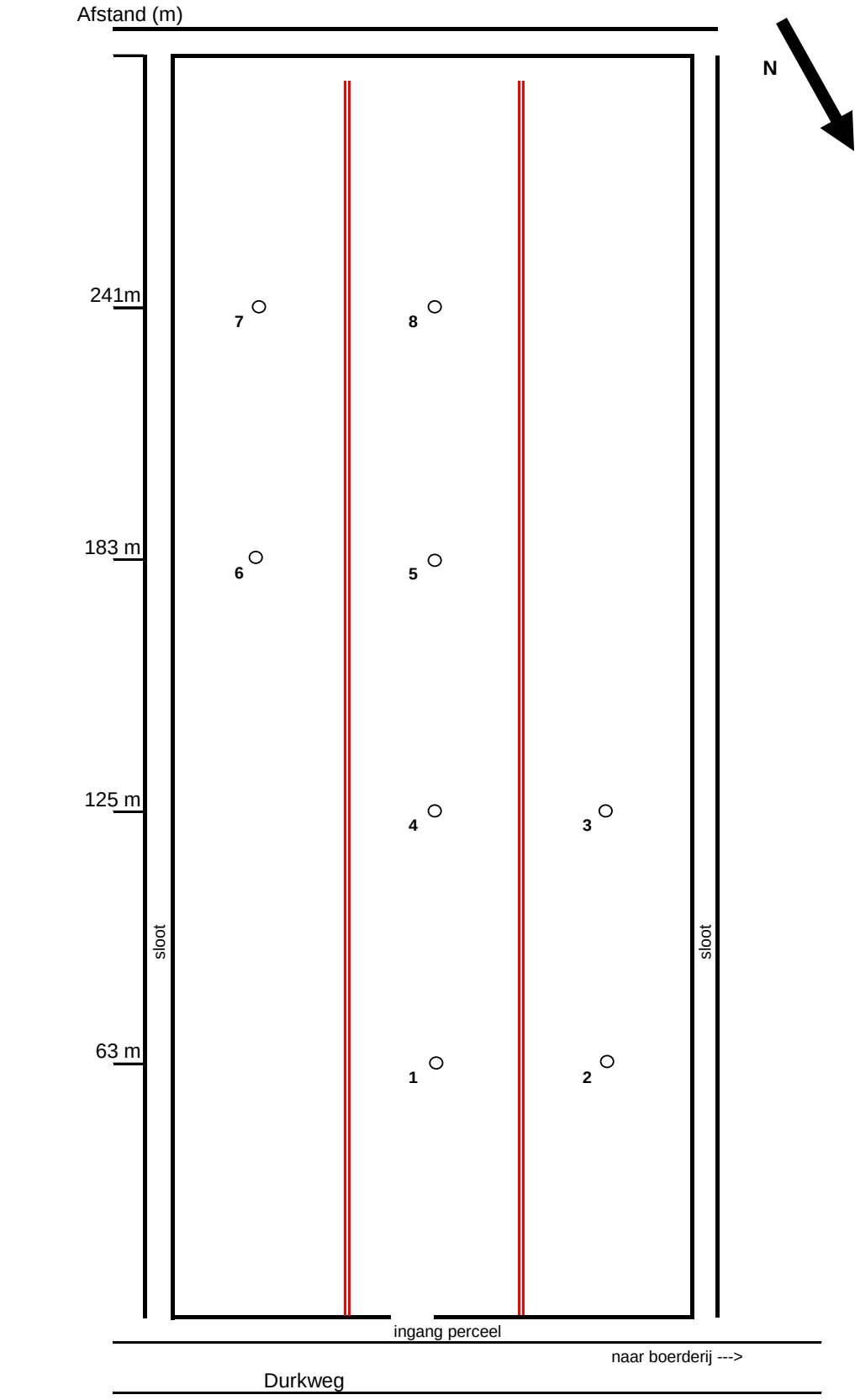
Bakker, perceel 'Dorp' (proefperceel zonder drains bij boezempeil)


N
377 m
308 m
228 m
180 m
148 m
100 m
13
12
10
11
9
8
6
7
BL
5
4
3
1
2
sloot
sloot
greppel
ingang perceel
Kwadijk (weg)
Bak met zakplaatjes
Peilbuis lengte ca. 1,20 m
Buisdrain 60 mm
Peilbuis, volledig filter (in het veen) lengte ca. 0,90 m
Peilbuis, 0,50 m filter (in de korte klei) lengte ca. 1,50 m
Peilbuis, 0,50 m filter (in afz v. Calais) lengte ca. 5,50 m
Proefveld grasopbrengstbepaling 10 x 20 m

Bakker, ‘Tweede perceel vanaf de boerderij’ (drainlengte 450 m, bij peil 60 cm -mv)

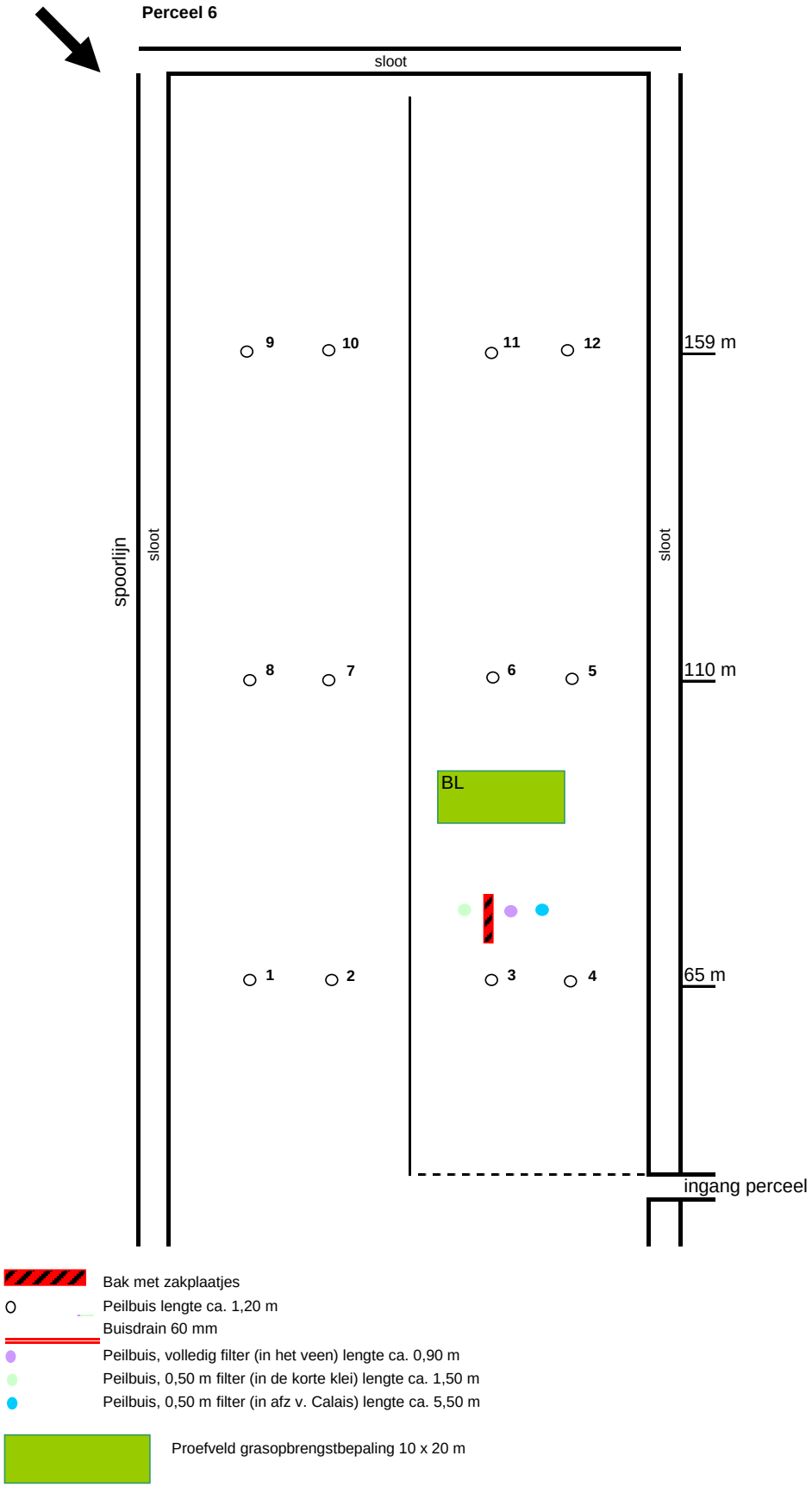


Bakker, ‘Tegenover derde perceel vanaf de boerderij’ (drainlengte 350 m, bij peil 60 cm -mv)



Steenman, perceel 9 (proefvakken met en zonder drains bij peil 60 cm -mv)

Steenman, perceel 6 (proefperceel oorspronkelijk laag peil, zonder drains)



Bijlage 3 Drogestof- en stikstofopbrengst gras

Drogestof- en stikstofopbrengst (kg ha^{-1}) gras gemiddeld per snede en totaal met en zonder onderwaterdrains en wel en geen stikstofbemesting (N0, N1). De drogestofopbrengst betreft de gemiddelde van de opbrengsten uit 2007 en 2008, uitgezonderd de eerste snede (2008). De stikstofopbrengst betreft de gemiddelden van 2008.

	N-niveau	Drogestofopbrengst		Stikstofopbrengst	
		Geen drainage	Wel drainage	Geen drainage	Wel drainage
Snede 1	N0	2771	3013	24,2	23,4
	N1	4946	4824	25,1	24,5
Snede 2	N0	2103	2207	23,1	22,8
	N1	2745	2713	26,1	25,8
Snede 3	N0	2506	2614	31,7	30,0
	N1	2958	3052	32,1	31,7
Snede 4	N0	2510	2394	37,1	37,3
	N1	2624	2377	39,6	38,7
Totaal	N0	7586	7787	116,1	113,4
	N1	9747	9643	122,9	120,8

Bijlage 4 Botanische samenstelling

Botanische samenstelling **bedrijf Bakker** gedurende proefperiode van het **proefperceel** met onderwaterdrains (slootpeil 60 cm-mv) en het referentieperceel zonder onderwaterdrains (slootpeil 15 cm –mv)

	2-10-2006		9-5-2007		5-5-2008		28-10-2008	
	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie
Totale bezetting	95	95	95	96	96	96	96	96
Engels raaigras	35	40	44	44	42	42	45	41
Timotheegras								
Beemdlangbloem								
Italiaans raaigras								
Witte klaver	+		+		+		+	
Totaal goede grassen	35	40	44	44	42	42	45	41
Ruw beemdgras	30	35	25	32	26	36	22	35
Veldbeemdgras								
Fioringras	2	2	2	3	1	4	2	5
Kweek	12	11	6	10	5	8	5	8
Gestreepte witbol	2		1		1		1	
Kropaar	+	+	+	+	+	+	+	+
Totaal matige grassen	46	48	34	45	33	48	30	48
Straatgras	6	8	10	6	12	5	12	6
Geknikte vossestaart	+		+		+		+	
Mannagras	+	+	+	+	+	+	+	+
Liesgras		+		+		+		+
Totaal slechte grassen	**6**	**8**	**10**	**6**	**12**	**5**	**12**	**6**
Vogelmuur	10		7		6		6	
Paardebloem	+	+	2	+	3	+	4	+
Krulzuring	1	1	1	1	1	1	+	+
Ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+
Veldzuring		+		+		+		+
Klein kruiskruid	+		+		+		+	
Kruipende boterbloem	2	2	2	3	3	3	3	4
Herderstasje								
Speerdistel								
Grote weegbree	+		+		+		+	
Brandnetel	+		+		+		+	
Akkerdistel	+		+		+		+	
Varkensgras	+	1	+	1	+	1	+	1
Nachtschade								
Melkdistel	+		+		+		+	
Zilverschoon	+		+		+		+	
Canadese fijnstraal								
Madeliefje	+		+		+		+	
Gele waterkers	+	+	+	+	+	+	+	+
Totaal kruiden	**13**	**4**	**12**	**5**	**13**	**5**	**13**	**5**

+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

Botanische samenstelling **bedrijf Bakker** gedurende proefperiode van de **greppels** op het proefperceel met onderwaterdrains (slootpeil 60 cm-mv) en op het referentieperceel zonder onderwaterdrains (slootpeil 15 cm–mv)

	2-10-2006		9-5-2007		5-5-2008		28-10-2008	
	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie
Totale bezetting	98	98	96	96	98	96	98	96
Engels raaigras	12	25	14	28	12	26	19	26
Timotheegras								
Beemdlangbloem								
Italiaans raaigras								
Witte klaver								
Totaal goede grassen	12	25	14	28	12	26	19	26
Ruw beemdgras	50	45	45	42	43	44	39	44
Veldbeemdgras								
Fioringras	30	20	28	16	28	16	26	18
Kweek	3	3	4	5	5	5	5	4
Gestreepte witbol	+		+		+		+	
Kropaar	+	+	+	+	+	+	+	+
Totaal matige grassen	83	68	77	63	76	65	70	66
Straatgras	3	4	5	5	6	6	6	6
Geknikte vossestaart								
Mannagras		+		+		+		+
Liesgras		+		+		+		+
Totaal slechte grassen	**3**	**4**	**5**	**5**	**6**	**6**	**6**	**6**
Vogelmuur	+		1		1		1	
Paardebloem	+	+	1	+	2	+	2	+
Krulzuring	+	1	+	1	+	1	+	+
Ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	
Veldzuring								
Klein kruiskruid								
Kruipende boterbloem	2	2	2	3	3	2	2	2
Herderstasje								
Speerdistel								
Grote weegbree								
Brandnetel								
Akkerdistel								
Varkensgras	+	+	+	+	+	+	+	+
Nachtschade								
Melkdistel								
Zilverschoon								
Canadese fijnstraal								
Madeliefje								
Gele waterkers	+	+	+	+	+	+	+	+
Totaal kruiden	**2**	**3**	**4**	**4**	**6**	**3**	**5**	**2**

+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

Botanische samenstelling **bedrijf Steenman** gedurende proefperiode van het **proefperceel** met onderwaterdrains (slootpeil 60 cm-mv) en het referentie perceel zonder onderwaterdrains (slootpeil 78 cm –mv)

	2-10-2006		9-5-2007		5-5-2008		28-10-2008	
	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie
Totale bezetting	95	95	98	98	96	98	98	98
Engels raaigras	35	40	40	48	37	47	42	45
Timotheegras	1		2		1		1	
Beemdlangbloem	+		+		+		+	
Italiaans raaigras								
Witte klaver	2	+	3	+	5	+	4	+
Totaal goede grassen	**38**	**40**	**45**	**48**	**43**	**47**	**47**	**45**
Ruw beemdgras	25	25	23	22	25	27	24	27
Veldbeemdgras								
Fioringras	5	4	3	4	4	3	4	5
Kweek	15	10	15	10	15	8	12	8
Gestreepte witbol	+	+	+	+	+	+	+	+
Kropaar								
Totaal matige grassen	45	39	41	36	44	38	40	40
Straatgras	15	10	12	10	10	8	10	6
Geknikte vossestaart	+		+		+		+	
Totaal slechte grassen	**15**	**10**	**12**	**10**	**10**	**8**	**10**	**6**
Vogelmuur	1	10	1	5	2	5	2	5
Paardebloem	+	+	+	+	+	+	+	+
Ridder-/Krulzuring	+	+	+	+	+	+	+	+
Kruipende boterbloem	1	1	1	1	1	2	1	4
Klein kruiskruid	+		+		+		+	
Herderstasje								
Speerdistel								
Grote weegbree	+	+	+	+	+	+	+	+
Brandnetel	+	+	+	+	+	+	+	+
Akkerdistel	+	+	+	+	+	+	+	+
Varkensgras	+	+	+	+	+	+	+	+
Nachtschade	+	+	+	+	+	+	+	+
Melkdistel	+	+	+	+	+	+	+	+
Zilverschoon	+	+	+	+	+	+	+	+
Canadese fijnstraal	+		+		+		+	
Totaal kruiden	**2**	**11**	**2**	**6**	**3**	**7**	**3**	**9**

+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

Botanische samenstelling **bedrijf Steenman** gedurende proefperiode van de **greppels** op het proefperceel met onderwaterdrains (slootpeil 60 cm-mv) en op het referentie perceel zonder onderwaterdrains (slootpeil 78 cm-mv)

	2-10-2006		9-5-2007		5-5-2008		28-10-2008	
	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie	Proef	Referentie
Totale bezetting	98	98	98	98	96	96	98	98
Engels raaigras	12	20	15	30	16	28	15	26
Timotheegras								
Beemdlangbloem								
Italiaans raaigras								
Witte klaver								
Totaal goede grassen	**12**	**20**	**15**	**30**	**16**	**28**	**15**	**26**
Ruw beemdgras	55	50	52	45	50	46	48	44
Veldbeemdgras								
Fioringras	30	25	30	20	30	20	32	22
Kweek	+	+	+	+	+	+	+	+
Gestreepte witbol	+	+	+	+	+	+	+	+
Kropaar								
Totaal matige grassen	85	75	82	65	80	66	80	66
Straatgras	1	3	1	3	2	3	2	4
Geknikte vossestaart								
Totaal slechte grassen	**1**	**3**	**1**	**3**	**2**	**3**	**2**	**4**
Vogelmuur	+	+	+	+	+	+	+	+
Paardebloem	+	+	+	+	+	+	+	+
Ridder-/Krulzuring		+		+	+	+	+	+
Kruipende boterbloem	2	2	2	2	2	3	3	4
Klein kruiskruid								
Herderstasje								
Speerdistel								
Grote weegbree					+		+	
Brandnetel								
Akkerdistel					+		+	
Varkensgras	+		+		+		+	
Nachtschade								
Melkdistel					+		+	
Zilverschoon								
Canadese fijnstraal								
Totaal kruiden	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**3**	**3**	**4**

Bijlage 5 Modellen Waterpas

SWAP-Waterpas

SWAP is een simulatiemodel, waarmee op veldschaal het verticale transport van water, stoffen en warmte in de onverzadigde en verzadigde zone van de bodem berekend kan worden (van Dam *et al.*, 1997; Kroes en van Dam, 2003). In deze studie wordt de SWAP-versie in het Waterpasmodel gebruikt, waarin de hydrologie van een bedrijf wordt voorgesteld door per perceel één kolom te nemen die aan één oppervlaktewaterpeil is gekoppeld.
Per perceel wordt de verdamping gesimuleerd op basis van de gewasgroei, verdampingsvraag vanuit de atmosfeer en de actuele drukhoogte van het water in de wortelzone. De hydraulische eigenschappen van de bodem worden beschreven met behulp van de waterretentie- en doorlatendheidkarakteristieken voor de diverse bodemlagen. SWAP berekent de grondwaterstand als resultante van de percolatie of capillaire stijging, de drainage- of infiltratieflux naar of uit het oppervlaktewatersysteem en de kwel of wegzijging naar de diepere ondergrond.

VVW

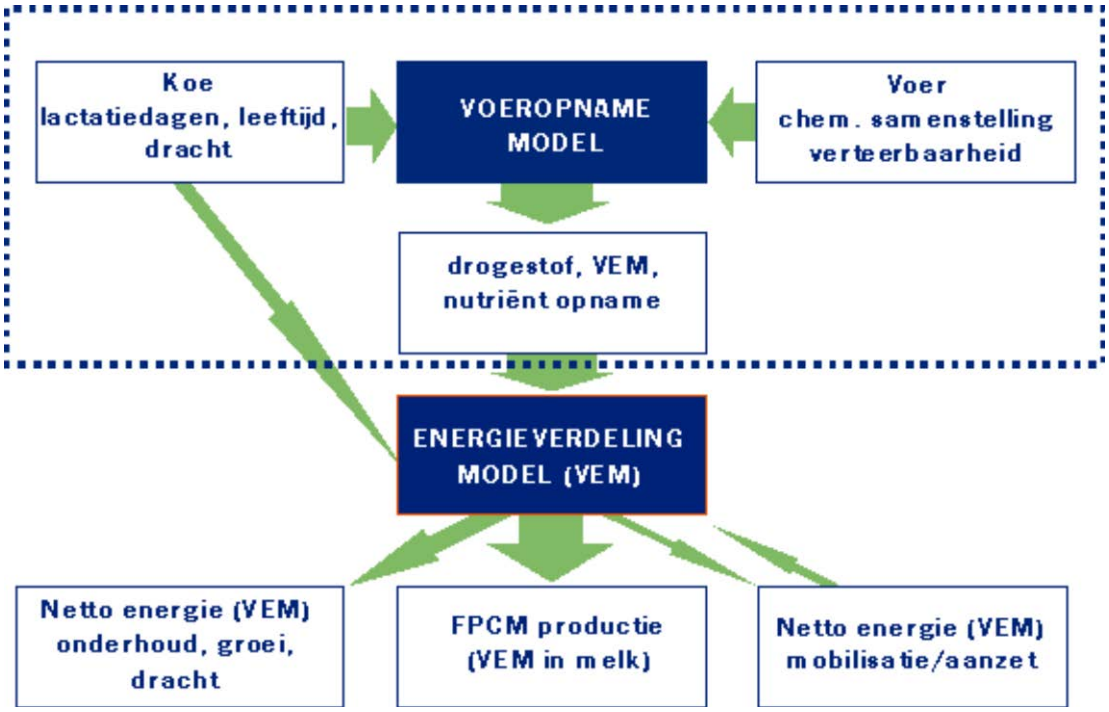
De *Voedingvoorzieningswijzer* (VVW) is een expertmodel waarmee het graslandgebruik van een melkveebedrijf gesimuleerd kan worden. Dit gebeurt op een manier zoals ook in de praktijk plaatsvindt. Een veehouder probeert het grasland zo te gebruiken dat hij het vee gedurende het gehele groeiseizoen kan weiden, en hij zal streven om ook voldoende gras te oogsten voor de winterperiode. Het model VVW maakt een gebruiksplan voor alle graspercelen van een bedrijf, waarbij de voederbehoefte van het vee en het grasaanbod van de betreffende percelen op het bedrijf zo goed mogelijk op elkaar worden afgestemd.
VVW gebruikt gegevens uit enerzijds een groeimodel, waarmee het grasaanbod op snedenbasis wordt berekend, en anderzijds de grasbehoefte van de veestapel (figuur A).

Figuur A De Voedingvoorzieningswijzer (VVW) gebruikt voor het simuleren van graslandgebruik modellen die het grasaanbod en de grasbehoefte van een veestapel berekenen

In deze studie is voor de grasgroei uitgegaan van gemiddelde groeicurves uit VVW voor veengrond. Op basis van de veranderde GHG en GLG is met (VVW) een verandering in grasproductie berekend, waarbij de nat- en droogteschade is gebaseerd op percentages uit de Help-tabel (1987) en aanvullende aanpassingen van de productie op het gebied van weideresten en voederwaarde (Nijssen en Evers, 2000).

De voeropname en melkproductie worden berekend met het herziene Koemodel (Zom *et al.*, 2002). Dit is een rekenmodel waarmee we de voeropname en uiteindelijk de melkproductie van melkkoeien kunnen voorspellen.
Bij de ontwikkeling van het Koemodel zijn resultaten van veel voederproeven gebruikt, zodat allerlei rantsoenen en prestaties kunnen worden gesimuleerd. Het Koemodel bestaat uit twee afzonderlijke delen.
Het eerste deel berekent de voeropname op basis van voerfactoren (zoals chemische samenstelling en verteerbaarheid) en koefactoren (zoals lactatiestadium, leeftijd en dracht). Als de voeropname bekend is, kan ook de opname van energie (VEM) en eiwit (DVE) worden berekend.
Het tweede deel berekent de verdeling van de opgenomen energie over onderhoud, dracht, gewichtsontwikkeling, melkproductie en de aanzet of mobilisatie van lichaamsreserves. Dit is schematisch weergegeven in figuur B.

Figuur B Koemodel (Zom et al., 2002), met een schematische weergave van de voeropname en energieverdeling



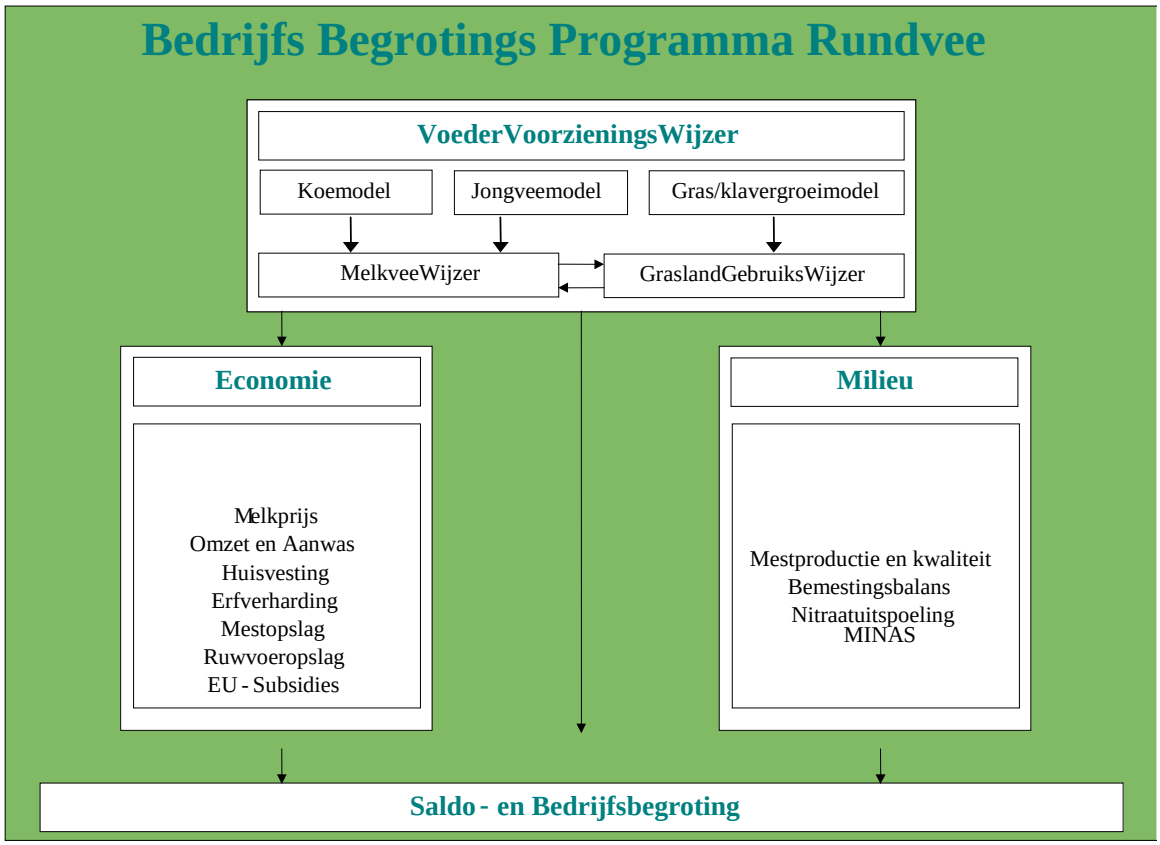
VVW maakt een planning van het perceelsgebruik op dagbasis, waarbij wordt uitgegaan van het basisprincipe dat maaien in dienst staat van de beweiding (Werkgroep Normen voor de Voedervoorziening, 1991). Dit betekent dat alleen het gras dat niet nodig is voor beweiding wordt gemaaid als ruwvoerwinning.
VVW maakt een perceelskeuze op basis van een puntenaantal per perceel (gebruikswaarde), met als eerste doel beweiding. Daarbij is de planningshorizon niet beperkt tot één beweiding, maar kijken we naar een reeks van beweidingen. Het perceel met de best scorende reeks wordt beweid. De puntentoekenning is op basis van criteria, zoals het gewenste opbrengstniveau, de gerealiseerde groeiduur, het gebruik van de vorige snede en het aantal dagen weiden. Naast de gemiddelde score die een perceel behaalt, wordt het perceelsgebruik binnen VVW ook gestuurd door de variatie in grasaanbod tussen percelen en de voorraad van grasaanbod. Dit zijn factoren die op langere termijn bepalend zijn voor het al of niet kunnen blijven weiden van vee.

De draagkracht van de bodem is sterk bepalend voor het graslandgebruik. Percelen met een onvoldoende draagkracht worden zo mogelijk gemeden. Dit kan betekenen dat het vee in het voorjaar noodgedwongen later in de wei gaat, of gedurende het groeiseizoen tijdelijk opgestald wordt, of in het najaar eerder naar binnen gaat. Wanneer de draagkracht onvoldoende is, wordt de zode door vee vertrapt of door veldwerkzaamheden sterk beschadigd. Dit is zowel op korte als op lange termijn zeer nadelig voor de productiviteit en de bewerkbaarheid van de zode. VVW is ten behoeve van het Waterpasmodel uitgebreid met een draagkrachtfunctie, zodat het graslandgebruik ook hierop gestuurd wordt. Gegevens over drukhoogte om de draagkracht te bepalen, worden binnen het Waterpasmodel door SWAP geleverd. In de gebruiksplanning van VVW worden de percelen met een onvoldoende draagkracht niet geweid en gemaaid. Zodra de drukhoogte lager wordt en de draagkracht weer voldoende is, worden deze percelen wederom in de planning meegenomen. Momenteel is er in VVW nog geen onderscheid tussen de benodigde draagkracht bij berijden en beweiden. Als koeien eenmaal in een perceel zijn ingeschaard, worden ze gedurende deze beweiding niet meer vervroegd uit dit perceel gehaald, mocht de draagkracht tijdens deze beweiding onder de kritieke waarde komen.

BBPR

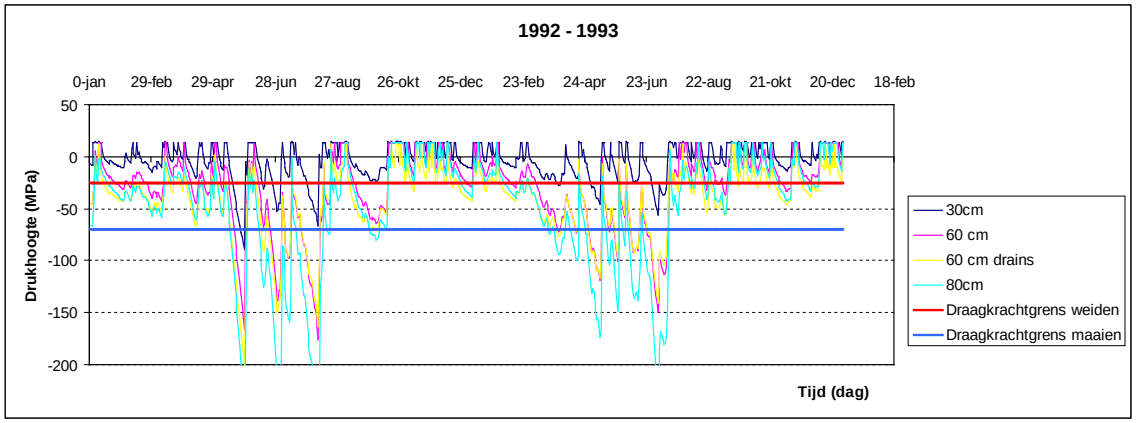
Het BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (BBPR) is een pakket van technische modellen, ontwikkeld voor het berekenen van een bedrijfsbegroting voor een melkveebedrijf (Schils *et al*., 2007). Met BBPR kunnen we landbouwkundige, milieukundige en bedrijfseconomische kengetallen berekenen. BBPR is opgebouwd uit verschillende modules op het gebied van voedervoorziening, economie en milieu, waaronder VVW. De opzet van BBPR staat in figuur C. De economische kengetallen in BBPR staan beschreven in de KWIN-Veehouderij 2008-2009 (KWIN, 2008). Voor de kengetallen en rekenregels op het gebied van voeding, bemesting, grasgroei en graslandgebruik wordt uitgegaan van de meest recente en actuele onderzoeksresultaten, wetgeving en landbouwkundige advisering.

Figuur C BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (BBPR); overzicht van de opbouw en onderlinge samenhang van de deelmodellen

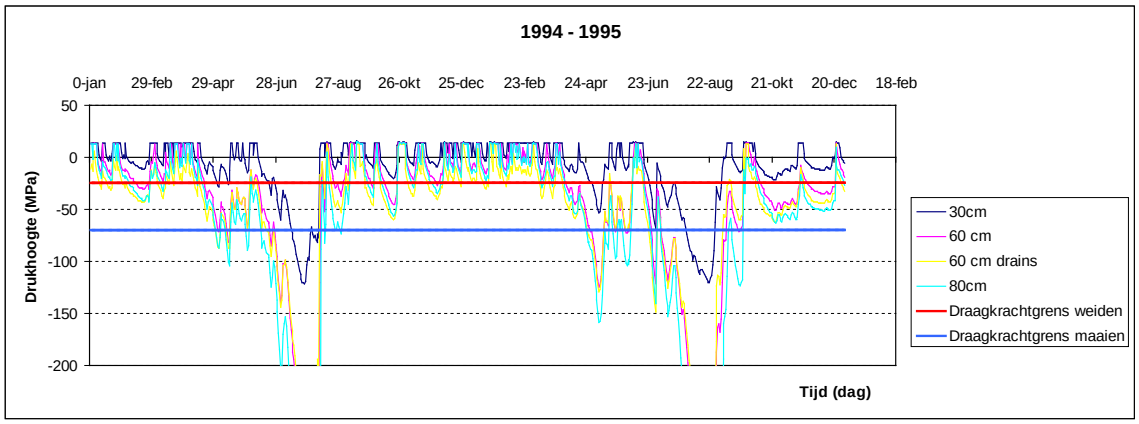


Bijlage 6 Gemodelleerde drukhoogtes SWAP

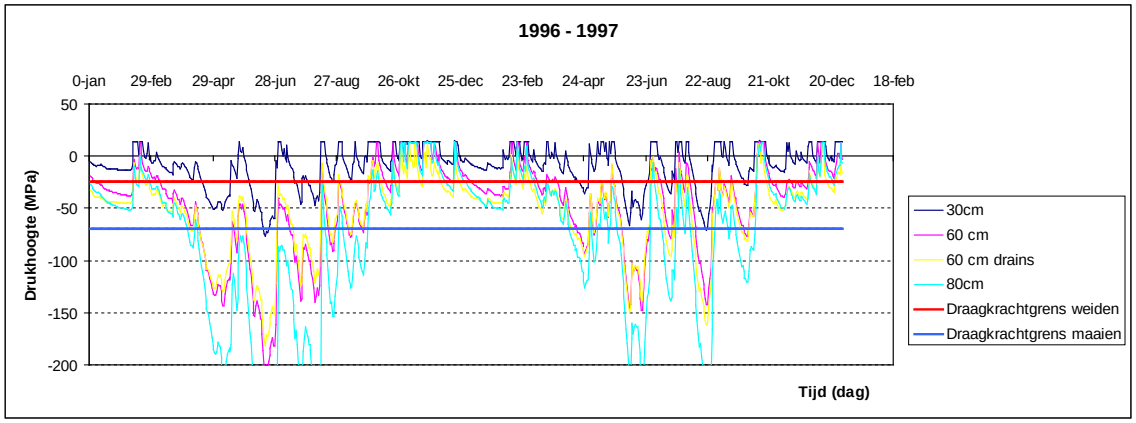
Figuur A Vochtspanning in de bovengrond (13,75 cm –mv) op dagbasis per drooglegginsvariant berekend met het model SWAP voor de jaren 1992 en 1993



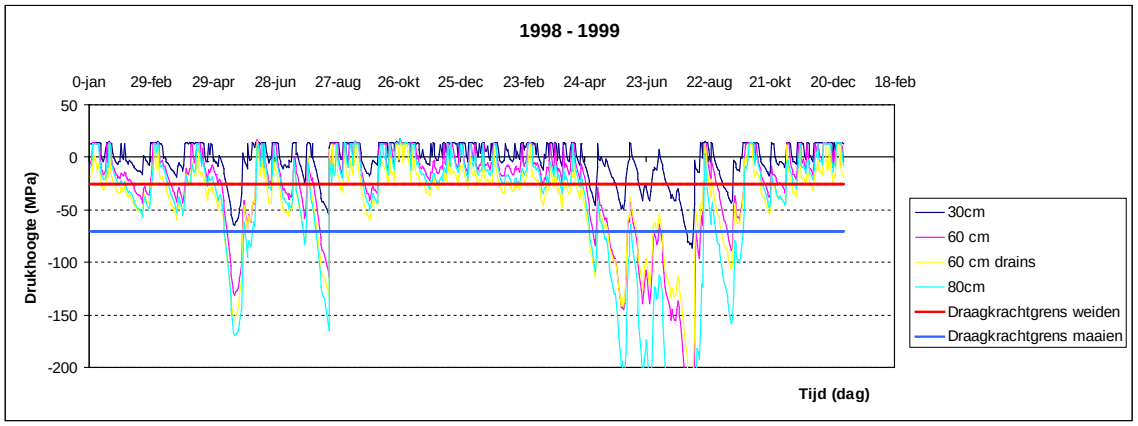
Figuur B Vochtspanning in de bovengrond (13,75 cm –mv) op dagbasis per drooglegginsvariant berekend met het model SWAP voor de jaren 1994 en 1995



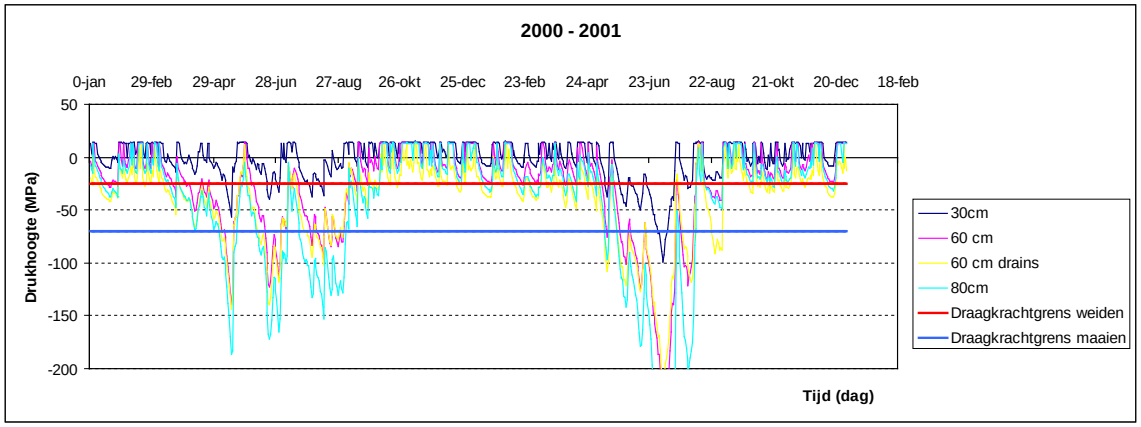
Figuur C Vochtspanning in de bovengrond (13,75 cm –mv) op dagbasis per drooglegginsvariant berekend met het model SWAP voor de jaren 1996 en 1997



Figuur D Vochtspanning in de bovengrond (13,75 cm –mv) op dagbasis per drooglegginsvariant berekend met het model SWAP voor de jaren 1998 en 1999



Figuur E Vochtspanning in de bovengrond (13,75 cm –mv) op dagbasis per drooglegginsvariant berekend met het model SWAP voor de jaren 2000 en 2001



Bijlage 7 Technische en economische resultaten bedrijfsberekeningen

Tabel B.1.1 Technische resultaten bij de variant a) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm'

Grasland		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Stikstofjaargift grasland	(kg/ha)	190	114	152	166	176	156	134	155	155	183	158	23	114	190
Bruto opbrengst grasland	(kg/ha)	8813	5317	7903	9079	9016	9453	9154	8606	9511	8648	8550	1227	5317	9511
Netto opbrengst grasland	(kVEM/ha)	5378	2688	4806	5706	5586	5415	4960	5048	5563	5467	5062	885	2688	5706
Energie-inhoud	(VEM/kg ds)	813	873	797	791	810	770	750	776	771	811	796	34	750	873
1e snede Maaipercentage	(%)	72	67	63	70	63	80	53	67	63	67	67	7	53	80
Overige sneden Maaipercentage	(%)	143	2	91	136	141	63	65	74	81	138	93	46	2	143
Totaal Maaipercentage	(%)	215	68	154	206	204	143	118	141	144	205	160	47	68	215
Kuilopbrengst	(kg ds)	274904	76378	246806	320392	273566	297099	260478	265396	311450	272705	259917	68442	76378	320392
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	(%)	78	18	68	90	82	88	85	80	91	83	76	22	18	91
Voeropname melkkoe per jaar															
Weidegras	(kg ds)	1399	1247	1302	1302	1386	1387	1247	1276	1394	1155	1309	82	1155	1399
Ruwvoer	(kg ds)	3992	4987	4025	3994	4007	3792	3732	3824	3796	4145	4029	361	3732	4987
Krachtvoer	(kg)	1347	0	1439	1465	1339	1557	1820	1680	1567	1429	1364	502	0	1820
Aankoop voer															
Ruwvoer totaal	(ton ds)	84,1	379,1	123,8	59	68,1	64,1	61,4	71,4	66,3	66,4	104,4	98,4	59	379,1
Graskuil	(ton ds)	0	15,6	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	4,9	0	15,6
Snijmaïs		64,4	309	81,6	46,5	54,6	52,9	49,7	54,7	54,9	48,6	81,7	80,5	46,5	309
Overige ruwvoeders	(ton ds)	19,7	54,5	42,2	12,5	13,6	11,2	11,7	16,7	11,4	17,8	21,1	14,9	11,2	54,5
Krachtvoer totaal	(ton)	109,5	6,4	112,8	121,4	108,4	131,7	154,4	137,8	131	115,7	112,9	40,1	6,4	154,4
Verkoop voer															
Graskuil	(ton ds)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel B.1.2 Economische resultaten bij de variant a) 'Niet gedraineerd drooglegging 20 cm'

Kosten		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Voerkosten	(€)	32375	53619	39187	30756	29802	33238	36929	35501	33418	31035	35586	6976	29802	53619
Kunstmest (N)	(€)	7577	4647	4783	5435	6113	4690	3648	4711	4790	6259	5265	1114	3648	7577
Loonwerk	(€)	28076	15235	23061	27425	27215	22069	20142	21963	22227	27468	23488	4106	15235	28076
Totaal	(€)	68029	73500	67031	63616	63130	59997	60719	62175	60435	64762	64339	4201	59997	73500

Tabel B.1.3 Technische resultaten bij de variant b) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm'

Grasland		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Stikstofjaargift grasland	(kg/ha)	147	129	128	150	165	148	118	166	128	160	144	17	118	166
Bruto opbrengst grasland	(kg/ha)	9147	7378	8308	9766	10356	10959	9511	10216	9593	8586	9382	1064	7378	10959
Netto opbrengst grasland	(kVEM/ha)	6264	4770	5647	7067	7581	7561	6080	7507	6576	6014	6507	932	4770	7581
Energie-inhoud	(VEM/kg ds)	914	932	900	906	902	893	855	900	880	919	900	21	855	932
1e snede Maaipercentage	(%)	68	63	57	63	60	67	58	63	57	70	63	5	57	70
Overige sneden Maaipercentage	(%)	120	61	59	167	167	119	58	178	59	128	112	49	58	178
Totaal Maaipercentage	(%)	188	124	116	230	227	186	116	241	116	198	174	52	116	241
Kuilopbrengst	(kg ds)	253186	167547	220831	305482	325644	307256	253684	340279	262659	263558	270013	51898	167547	340279
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	(%)	79	50	68	96	108	110	90	107	93	76	88	19	50	110
Voeropname melkkoe per jaar															
Weidegras	(kg ds)	1930	1637	1808	1945	2133	2067	1600	1934	1824	1511	1839	204	1511	2133
Ruwvoer	(kg ds)	3467	3677	3503	3494	3283	3303	3433	3467	3398	3877	3490	175	3283	3877
Krachtvoer	(kg)	1005	1045	1085	998	1011	1062	1465	1022	1206	966	1086	149	966	1465
Aankoop voer															
Ruwvoer totaal	(ton ds)	68,1	174,7	105,8	13,2	11,4	11,1	33,1	12	23,3	86,8	53,9	54,8	11,1	174,7
Graskuil	(ton ds)	34,1	128,8	60,8	1,3	0	0	14,5	0	7,4	40,8	28,8	41	0	128,8
Snijmaïs		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Overige ruwvoeders	(ton ds)	33,9	45,9	44,9	11,8	11,4	11,1	18,6	12	16	46	25,2	15,6	11,1	46
Krachtvoer totaal	(ton)	77,3	80,4	83,3	76,7	77,7	81,8	113,9	78,5	92,8	74,7	83,7	11,8	74,7	113,9
Verkoop voer															
Graskuil	(ton ds)	0	0	0	0	6,3	12,4	0	3,7	0	0	2,2	4,2	0	12,4

Tabel B.1.4 Economische resultaten bij variant b) 'Niet gedraineerd drooglegging 60 cm'

Kosten		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Voerkosten	(€)	23916	34487	29061	17112	16709	17073	25893	17165	21077	26211	22870	6102	16709	34487
Kunstmest (N)	(€)	5713	4237	3984	6013	7217	5779	3308	7055	4140	5995	5344	1346	3308	7217
Loonwerk	(€)	24921	19733	18854	28290	27519	23967	19143	29056	18871	25985	23634	4142	18854	29056
Totaal	(€)	54550	58457	51899	51415	51445	46819	48344	53277	44087	58191	51848	4612	44087	58457

Tabel B.1.5 Technische resultaten bij de variant c) ‘Gedraineerd drooglegging 60 cm’

Grasland		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Stikstofjaargift grasland	(kg/ha)	160	134	126	165	158	157	130	165	150	163	151	15	126	165
Bruto opbrengst grasland	(kg/ha)	10788	7985	8807	9985	11006	11111	9804	10076	10751	10912	10122	1035	7985	11111
Netto opbrengst grasland	(kVEM/ha)	7664	5277	5916	7297	7705	7759	6415	7451	7577	7818	7088	895	5277	7818
Energie-inhoud	(VEM/kg ds)	896	933	903	908	893	897	867	904	884	906	899	17	867	933
1e snede Maaipercentage	(%)	67	63	57	63	60	67	60	68	63	63	63	4	57	68
Overige sneden Maaipercentage	(%)	169	62	63	164	127	126	63	179	109	183	125	49	62	183
Totaal Maaipercentage	(%)	236	125	119	228	187	193	123	248	173	247	188	52	119	248
Kuilopbrengst	(kg ds)	356179	167571	217146	319793	311058	311613	262086	338505	331892	324144	293999	59970	167571	356179
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	(%)	111	60	71	100	113	113	94	105	113	113	99	19	60	113
Voeropname melkkoe per jaar															
Weidegras	(kg ds)	1891	1709	2127	1941	2365	2154	1731	1846	1831	2014	1961	206	1709	2365
Ruwvoer	(kg ds)	3501	3631	3255	3523	3045	3262	3356	3559	3475	3427	3403	176	3045	3631
Krachtvoer	(kg)	1032	1056	1056	968	1038	1003	1378	1005	1122	988	1065	118	968	1378
Aankoop voer															
Ruwvoer totaal	(ton ds)	11,9	137,3	90,9	11,9	10,5	11,2	17,5	12,2	11,4	11,2	32,6	44,4	10,5	137,3
Graskuil	(ton ds)	0	92	48,6	0	0	0	6,5	0	0	0	14,7	31,1	0	92
Snijmaïs		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Overige ruwvoeders	(ton ds)	11,9	45,3	42,3	11,9	10,5	11,2	11	12,2	11,4	11,2	17,9	13,7	10,5	45,3
Krachtvoer totaal	(ton)	79,4	81,1	81,2	74,6	80	77,4	106,3	77,3	86,3	76	82	9,2	74,6	106,3
Verkoop voer															
Graskuil	(ton ds)	16,8	0	0	0	18,8	22,2	0	0	21,6	55,5	13,5	17,8	0	55,5

Tabel B.1.6 Economische resultaten bij de variant c) ‘Gedraineerd drooglegging 60 cm’

Kosten		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Voerkosten	(€)	16589	31420	27194	16612	16257	15829	22601	17188	17338	13708	19474	5728	13708	31420
Kunstmest (N)	(€)	6469	4476	4113	6693	6698	6303	4539	7141	5801	7123	5936	1148	4113	7141
Loonwerk	(€)	28150	19734	18974	28040	23526	23975	19637	29826	22775	26699	24134	3927	18974	29826
Totaal	(€)	51208	55629	50281	51345	46482	46107	46777	54156	45915	47530	49543	3511	45915	55629

Tabel B.1.7 Technische resultaten bij de variant g) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm'

Grasland		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Stikstofjaargift grasland	(kg/ha)	159	134	151	158	179	159	120	172	160	155	155	17	120	179
Bruto opbrengst grasland	(kg/ha)	10691	7702	8697	10343	11309	10886	9688	10006	10287	9127	9874	1098	7702	11309
Netto opbrengst grasland	(kVEM/ha)	7736	5313	6368	7468	8505	8018	6361	7626	7288	6361	7104	971	5313	8505
Energie-inhoud	(VEM/kg ds)	898	938	916	904	909	905	866	908	907	922	907	18	866	938
1e snede Maaipercentage	(%)	65	63	63	63	67	68	65	67	60	63	65	2	60	68
Overige sneden Maaipercentage	(%)	183	72	135	168	211	171	65	196	121	128	145	50	65	211
Totaal Maaipercentage	(%)	248	135	198	232	278	239	130	263	181	191	209	51	130	278
Kuilopbrengst	(kg ds)	355634	168008	263568	311068	344595	323803	275084	336854	275727	241577	289592	57174	168008	355634
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	(%)	112	60	80	105	128	118	95	108	101	80	99	20	60	128
Voeropname melkkoe per jaar															
Weidegras	(kg ds)	1925	1710	1861	2268	2371	2203	1525	2001	2105	1938	1991	258	1525	2371
Ruwvoer	(kg ds)	3493	3657	3575	3170	3116	3241	3518	3448	3329	3507	3405	181	3116	3657
Krachtvoer	(kg)	1005	1003	928	1013	974	996	1409	968	1000	946	1024	138	928	1409
Aankoop voer															
Ruwvoer totaal	(ton ds)	11,9	138,9	66,2	10,6	10,8	11,3	16,2	12	11,3	67,2	35,6	42,9	10,6	138,9
Graskuil	(ton ds)	0	93,3	30,7	0	0	0	4,9	0	0	32,8	16,2	30	0	93,3
Snijmaïs		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Overige ruwvoeders	(ton ds)	11,9	45,7	35,5	10,6	10,8	11,3	11,3	12	11,3	34,4	19,5	13,5	10,6	45,7
Krachtvoer totaal	(ton)	77,4	77,3	71,8	77,9	74,9	76,7	108,6	74,6	76,9	73	78,9	10,6	71,8	108,6
Verkoop voer															
Graskuil	(ton ds)	19,8	0	0	0	66,9	35,8	0	5,2	0	0	12,8	22,5	0	66,9

Tabel B.1.8 Economische resultaten bij de variant g) 'Niet gedraineerd drooglegging 80 cm'

Kosten		**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**Gem.**	**Stdev**	**Min**	**Max**
Voerkosten	(€)	16090	30956	22937	16938	12690	14857	23040	16349	16839	23151	19385	5497	12690	30956
Kunstmest (N)	(€)	6889	4482	5621	7130	9684	7105	3675	8386	6261	5896	6513	1759	3675	9684
Loonwerk	(€)	28921	20568	25739	28223	27919	26884	20346	30603	24031	25079	25831	3417	20346	30603
Totaal	(€)	51900	56005	54297	52291	50293	48845	47061	55338	47131	54126	51729	3288	47061	56005

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, 2005. Maaivelddaling en verdwijnende veengronden. In: Veenweide 25x belicht; een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen UR. - Wageningen : Alterra, 2005 - p. 11 - 13.

Akker, J.J.H. van den en J. Beuving, 1997. Vijfentwintig jaar peilverlaging versus polderpeil. Maaivelddaling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegvelderbroek. Landinrichting 37/3, blz. 15 – 20.

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving & K. Oostindie, 1993. Berijdingsmogelijkheden veengrasland I: Draagkracht en uitrijmogelijkheden in het voorjaar. In: H. Snoek (ed.), Grasland en berijding; inleidingen van de themadag op donderdag 17 juni 1993. Lelystad, PR, 1993, blz. 19-26.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, J.R. Mulder, 2007. Invloed van infiltratiewater via onderwaterdrains op de afbraak van veengrond; Helpdeskvraag HD2057_Onderwaterdrains_vanDrunen_1106. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1597. 48 blz.; 10 fig.; 5 ref.

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaivelddaling, afbraak en CO2 emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, Sdu, Den Haag, 32 blz.

Beuving, J. en J.J.H. van den Akker, 1996. Maaiveldsdaling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegvelderbroek. Vijfentwintig jaar zakkingsmetingen op het ROC Zegveld. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 377. 158 blz.

Beuving, J., K. Oostindie en Th. Vellinga, 1989. Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veengrasland. Wageningen, Staring Centrum, rapport 6, 31 pp.

Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk & C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil+Water+Atmosphere+Plant environment. Technical document 45, DLO Winand Staring Centre, Wageningen.

Genstat Committee, 2006. Genstat® Release 9 Reference Manual. Published by VSN International

Hendriks, R.F.A., 1993. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 251. 164 blz.

HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Rapport van de
werkgroep HELP-tabel. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.

Hoving, I.E., Akker, J.J.H. van den, 2005. Onderwaterdrains perspectiefvol voor beperking bodemdaling. In: Veenweide 25x belicht; een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen UR. - Wageningen : Alterra, 2005 - p. 34 – 35.

Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik ‘onderwaterdrains’ op veengrond. Lelystad, Animal Sciences Group van Wageningen-UR. Rapport 102

Holshof, G., Th. V. Vellinga en J. Beuving, 1994. Vertrapping en grasaanbod op veengrasland met een slechte draagkracht. Proefstation voor de Rundveehouderij (PR) Lelystad, Rapport nr. 153.

Kroes, J.G. and J.C. van Dam (eds.), 2003. SWAP 3.0.3 Reference manual. Wageningen, Report 773, Alterra.

KWIN-Veehouderij 2008. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2008-2009. Animal Sciences Group van Wageningen-UR, Lelystad. Handboek 6.

Nijssen, K. en A. Evers, 1999. Rekenmethode voor vaststelling van schade in vernattingsprojecten. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en paarden, Lelystad. Intern rapport 384

Pleijter, M. en J.J.H. van den Akker, 2007. Onderwaterdrains in het veenweidegebied. Toelichting op de methode en meetinrichting. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1586

Pleijter, M. en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied. Analyse van de grondwaterstanden tussen 2004 en 2007 op de proefpercelen in Zegveld. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport (in prep.)

R. L. M. Schils, M. H. A. de Haan, J. G. A. Hemmer, A. van den Pol-van Dasselaar, J. A. de Boer, A. G. Evers, G. Holshof, J. C. van Middelkoop and R. L. G. Zom, 2007. DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. Journal of Dairy Science, vol:90 iss:11 pg:5334 -5346

Vos, J.A. de, I.E. Hoving , P.J.T. van Bakel, J. Wolf , J.G. Conijn, G. Holshof, 2004. Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 987.

Werkgroep Normen voor de Voedervoorziening, 1991. Normen voor de Voedervoorziening. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad. Publicatie nr. 71.

Zom, R.L.G., J.W. van Riel, G. André, G. van Duinkerken, 2002. Voorspelling voeropname met Koemodel 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad. Praktijkrapport Rundvee.

Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info@livestockresearch.wur.nl I www.livestockresearch.wur.nl