



Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Ottema-Wiersma in 2013/2014

Herman de Boer



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Ottema-Wiersma in 2013/2014

Herman de Boer

Dit onderzoek is door Wageningen UR Livestock Research uitgevoerd voor het publiek-private samenwerkingsprogramma Duurzame Zuivelketen, gefinancierd door ZuivelNL en het Ministerie van Economische Zaken (als Beleidsondersteunend onderzoek: BO-22.02-012-005)

Wageningen UR Livestock Research
Wageningen, juli 2015

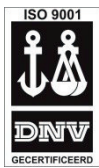
Livestock Research Rapport 881

Herman de Boer, 2015. *Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Ottema-Wiersma in 2013/2014; Wageningen*, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 881. 44 blz.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



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

Livestock Research Rapport 881

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal & methoden	10
2.1 Beschrijving stal en stalvloer	10
2.2 Beddingmanagement	11
2.3 Gegevensverzameling	11
2.3.1 Gegevensverzameling door de melkveehouder	11
2.3.2 Gegevensverzameling bij een bedrijfsbezoek	12
2.4 Methodiek voor berekening NPK-balans en N-verlies uit de stal	12
2.5 Metingen en berekeningen per balanspost	14
2.5.1 NPK _{strooisel}	14
2.5.2 NPK _{ruwvoer}	14
2.5.3 NPK _{krachtvoer}	14
2.5.4 NPK _{drijfmest}	15
2.5.5 NPK _{bedding}	16
2.5.6 NPK _{melk}	17
2.5.7 NPK _{dieren}	17
3 Resultaten	18
3.1 Beddingeigenschappen	18
3.1.1 Beddingtemperatuur	18
3.1.2 Beddinghoogte	18
3.1.3 Dichtheid bedding	19
3.1.5 Porositeit bedding	20
3.1.6 Deeltjesgrootte bedding	20
3.2 Samenstelling veestapel	21
3.3 Resultaten per balanspost	21
3.3.1 NPK _{strooisel}	21
3.3.2 NPK _{ruwvoer}	22
3.3.3 NPK _{krachtvoer}	22
3.3.4 NPK _{drijfmest}	25
3.3.5 NPK _{bedding}	27
3.3.6 NPK _{melk}	28
3.3.7 NPK _{dieren}	28
3.4 NPK balans	29
3.4.1 N-aanvoer	29
3.4.2 N-vastlegging	29
3.4.3 NPK-balans	30
3.4.4 Gecorrigeerde N-balans en N-verlies	30
4 Discussie	34
4.1 Effect afwijkingen P- en K-balans op N-verlies	34
4.2 Alternatieve berekening vastlegging NPK in drijfmest	34
4.3 Niveau N-verlies vrijloopstal Wiersma	34
4.4 Relatie N-verlies met C/N-verhouding bedding	35

Conclusies	39
Referenties	40
Bijlagen	41
Bijlage 1. NPK-balansen per meetmoment	41

Woord vooraf

Wij danken de familie Ottema-Wiersma voor het ter beschikking stellen van hun bedrijf, hun bedrijfsgegevens en het uitvoeren van de metingen; Jacob Goelema (De Heus Diervoeders) voor het aanleveren van krachtvoergegevens; Klaas Blanken (Livestock Research) voor de bedrijfsbezoeken en dr. André Aarnink (Livestock Research) en prof. Peter Groot-Koerkamp (Livestock Research, Departement Plantenwetenschappen WU) voor de review van dit rapport. Het onderzoek in dit rapport werd gefinancierd door het programma Duurzame Zuivelketen (www.duurzamezuivelketen.nl).

Paul Galama

Projectleider onderzoek Vrijloopstallen

Samenvatting

Een aantal Nederlandse melkveehouders stapte de laatste jaren over van een ligboxenstal met een roostervloer naar een vrijloopstal met een organische bedding. Deze overstap heeft meerdere effecten, waaronder op de stikstofkringloop op het melkveebedrijf. Stikstof (N) verdwijnt uit deze kringloop onder andere door vervluchtiging uit de stal, uit de mestopslag en na het uitrijden van mest op het land. N-vervluchtiging kan negatieve effecten hebben op de milieukwaliteit en leiden tot verlies van productiviteit. Daarom is het wenselijk om het N-verlies door vervluchtiging op het melkveebedrijf zo laag mogelijk te houden. Om inzicht te krijgen in de milieu- en productiviteitseffecten van de overstap van een ligboxenstal naar een vrijloopstal is het onder andere nodig om inzicht te krijgen in de hoeveelheid N die vervluchtigt uit de vrijloopstal en dit te vergelijken met de ligboxenstal. Het onderzoek in dit rapport richtte zich op het vaststellen van het N-verlies door vervluchtiging uit de vrijloopstal van de VOF Ottema-Wiersma in Midwolde (Groningen). De vloer van deze stal bestond uit een deel houtsnipperbedding (liggedeelte) en een deel roostervloer (loopgedeelte). De houtsnipperbedding werd intensief gecomposteerd bij een temperatuur van 40 tot 55°C. Tijdens de compostering werd er via de stalvloer lucht door de bedding geblazen. Het hoofddoel van de compostering was om voldoende vocht te verdampen en daarmee de bedding droog te houden. Een neven doel was om tijdens de compostering de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa en daarmee het N-verlies door vervluchtiging te verminderen. Het onderzoek had de volgende doelen: 1) vaststellen van het N-verlies uit deze stal en de ontwikkeling hiervan over de tijd; 2) vaststellen van de bijdrage van de bedding aan het verlies; 3) vaststellen van de bijdrage van aanwending van mest op het land aan het totale N-verlies uit deze stal; 4) verklaring van de ontwikkeling van het N-verlies uit de stal op basis van veranderingen in beddingeigenschappen; en 5) vergelijking van het niveau van N-verlies uit deze vrijloopstal met dat van een referentie ligboxenstal. Het N-verlies werd vastgesteld door het berekenen van N, P (fosfor) en K (kalium) balansen per twee tot drie weken over een meetperiode van acht maanden (inclusief winterperiode). NPK werd in de stal aangevoerd met strooisel, ruwvoer en krachtvoer, en vastgelegd in de bedding, drijfmest, melk en dieren. Het verschil tussen aangevoerde en vastgelegde N was het N-verlies. Om de benodigde gegevens te verzamelen werd het bedrijf tijdens de meetperiode iedere twee tot drie weken bezocht. Bij ieder bezoek werd de aanwezige hoeveelheid bedding en drijfmest gemeten en bemonsterd en werd een aantal beddingeigenschappen gemeten. De melkveehouder hield de aanwezige aantallen dieren per diercategorie bij, evenals de gevoerde rantsoenen, de hoeveelheden aangevoerde houtsnippers en het toegepaste beddingmanagement. De melkveehouder bepaalde ook iedere drie dagen de beddinghoogte en -temperatuur. Het krachtvoerconsumptie werd afgeleid van de krachtvoerleveringen en de hoeveelheid geproduceerde melk werd overgenomen van de overzichten van de melkfabriek. Met de verzamelde gegevens werd per bezoekdatum (= meetmoment) de cumulatieve (oplopende) NPK-balans en het cumulatieve N-verlies berekend. Het N-verlies over de balansperiode was 799 kg N, 9% van de N-excretie met mest in de stal. Dit was lager dan het verlies van een eerder berekende balans voor deze stal (19%), lager dan het verlies uit een referentie ligboxenstal (11%) en het laagste N-verlies tot nu toe gemeten aan een vrijloopstal. Een indicatieve opsplitsing gaf een N-verlies van 18% van de N-excretie op de bedding en van 3% op de roostervloer. Daarmee werd over de balansperiode het laagste N-verlies op de roostervloer gerealiseerd. De eerste twee maanden van de balansperiode was het N-verlies van de bedding echter negatief en lager dan het N-verlies van de roostervloer; pas na vijf maanden was het N-verlies van de bedding opgelopen tot het niveau van de roostervloer. Er was over de hele balansperiode een sterke inverse lineaire relatie tussen het N-verlies uit de stal en de C/N-verhouding van de bedding ($P < 0,001$; $R^2 = 87\%$). Bij een C/N-verhouding hoger dan 34 was het N-verlies negatief en werd er mogelijk door bacteriën N uit de omgevingslucht in de bedding vastgelegd. Bij een C/N-verhouding lager dan 34 ontstond N-verlies, dat toenam bij een verdere daling. De relatie suggereert dat het N-verlies uit de stal op een laag niveau gehouden kon worden door de C/N-verhouding van de bedding op een voldoende hoog niveau te houden. Hierdoor werd er voldoende N uit de op de bedding uitgescheiden mest gebonden in bacteriële biomassa en was deze daardoor niet langer beschikbaar voor vervluchtiging. De C/N-verhouding kon op een voldoende hoog niveau gehouden worden door een regelmatige aanvoer van

verse houtsnippers. De N-vervluchtiging uit vrijloopstal Ottema-Wiersma, inclusief de indicatieve vervluchtiging na toediening van drijfmest en compost op het land, was 14% van de N-excretie in de stal, vergeleken met 19% uit de referentie ligboxenstal. Geconcludeerd werd dat intensief composteren van houtsnippers, een combinatie van composteren bij relatief hoge temperatuur, een regelmatige aanvoer van verse houtsnippers, dagelijks frezen van de bedding, en regelmatig kort beluchten door middel van blazen, een geschikte methode was om het N-verlies van deze vrijloopstal met composterende bedding op een laag niveau te houden.

1 Inleiding

Een aantal Nederlandse melkveehouders stapte de laatste jaren over van een ligboxenstal met een roostervloer naar een vrijloopstal met een organische bedding. Een belangrijke reden voor deze overstap is het realiseren van een beter dierenwelzijn in de stal. Naast een beter dierenwelzijn heeft de overstap ook andere effecten, waaronder op de stikstofkringloop op het melkveebedrijf. Stikstof (N) verdwijnt uit deze kringloop onder andere door vervluchtiging uit de stal, uit de mestopslag en na het uitrijden van mest op het land. N kan vervluchtigen in de vorm van ammoniak (NH_3), lachgas (N_2O), stikstofgas (N_2) en overige stikstofoxiden (NO_x). De vervluchtiging van ammoniak kan bijdragen aan verzuring en eutrofiëring van de natuur en vervluchtiging van lachgas aan opwarming van de aarde. De vervluchtiging van stikstofgas heeft geen directe negatieve effecten op de omgeving. Echter, door het verdwijnen van N uit de bedrijfskringloop moet er meer N op het bedrijf aangevoerd worden om de productiviteit van de bodem, het gewas en de koeien op peil te houden. Gebeurt deze aanvoer met dierlijke mest of kunstmest, dan leidt dit alsnog tot een hogere milieubelasting. Gezien het bovenstaande is het wenselijk om het niveau van N-vervluchtiging op het melkveebedrijf zo laag mogelijk te houden.

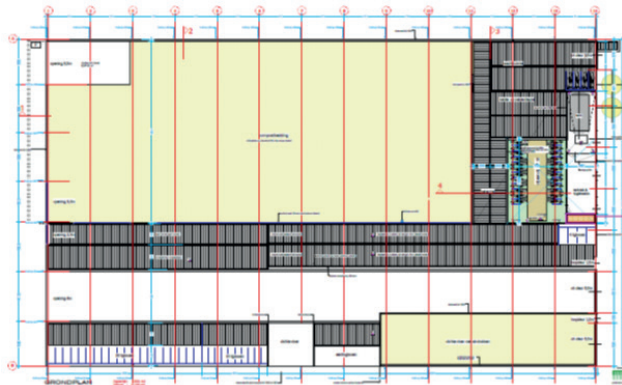
Om inzicht te krijgen in milieu- en productiviteitseffecten van de omschakeling van een ligboxenstal naar een vrijloopstal is het dus nodig om inzicht te krijgen in de hoeveelheid N die vervluchtigt uit de vrijloopstal en deze te vergelijken met de ligboxenstal. N vervluchtigt niet alleen uit de stal maar ook na het uitrijden van mest uit de stal op het land. Een stalsysteem met een relatief lage N-vervluchtiging direct uit de stal kan een relatief hoge N-vervluchtiging na mesttoediening hebben, en omgekeerd. Bij de ligboxenstal met productie van drijfmest wordt bijna de helft van de totale N-vervluchtiging (stal + land) na het emissiearm uitrijden van de mest op het land gerealiseerd (zie paragraaf 2.4). Om een meer volledig en betrouwbaar beeld te hebben van de N-vervluchtiging van een stalsysteem is het daarom gewenst om de N-vervluchtiging direct uit de stal en na mestaanwending gezamenlijk te beoordelen.

Vrijloopstallen verschillen o.a. in het type gebruikt strooisel en het management van de bedding. Daardoor kunnen er grote verschillen zijn in N-verlies tussen vrijloopstallen (De Boer, 2015). Het onderzoek in dit rapport richtte zich op het vaststellen van het N-verlies door vervluchtiging uit de vrijloopstal van de VOF Ottema-Wiersma in Midwolde (Groningen). De vloer van deze stal bestond uit een deel houtsnipperbedding (liggedeelte) en een deel roostervloer (loopgedeelte). De houtsnipperbedding werd intensief gecomposteerd bij een temperatuur van 40 tot 55°C. Tijdens de compostering werd er via de stalvloer lucht door de bedding geblazen. Het hoofddoel van de compostering was om voldoende vocht te verdampen en daarmee de bedding droog te houden. Dit was vooral van belang tijdens de koude, natte winterperiode. Een neven doel was om tijdens de compostering de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa en daarmee het N-verlies door vervluchtiging te verminderen. Het onderzoek had de volgende doelen: 1) vaststellen van het N-verlies uit deze stal en de ontwikkeling hiervan over de tijd; 2) vaststellen van de bijdrage van de bedding aan het verlies; 3) vaststellen van de bijdrage van aanwending van mest op het land aan het totale N-verlies uit deze stal; 4) verklaring van de ontwikkeling van het N-verlies uit de stal op basis van veranderingen in beddingeigenschappen; en 5) vergelijking van het niveau van N-verlies uit deze vrijloopstal met dat van een referentie ligboxenstal. Het N-verlies werd vastgesteld door het berekenen van N, P (fosfor) en K (kalium) balansen per twee tot drie weken over een meetperiode van acht maanden (inclusief winterperiode).

2 Materiaal & methoden

2.1 Beschrijving stal en stalvloer

De vloer van vrijloopstal Ottema-Wiersma (hierna afgekort tot Wiersma) bestond uit zowel vrijloopbedding als roostervloer. Een plattegrond van de stal is gegeven in Figuur 1. De melkkoeien waren gehuisvest op het staldeel boven de voergang (in de plattegrond), op de vrijloopbedding en op de roostervloer daar omheen. De droge koeien waren links op de vrijloopbedding gehuisvest, over een lengte van twee tot drie spantvakken en gescheiden van de melkgevende koeien met een stroomlint. Links en midden onder de voergang was een deel van het jongvee gehuisvest op roostervloer. Het overige jongvee was gehuisvest in een schuur buiten de vrijloopstal. Rechtsonder de voergang waren de kalfjes gehuisvest op een strobed. De stalvloeroppervlakte voor de melkkoeien bestond uit 1074 m² vrijloopbedding en 557 m² roostervloer. De drijfmestkelder in de stal bestond uit vijf verschillende compartimenten met een totale vloeroppervlakte van 956 m². Naast de roostervloer was ook een deel van de voergang onderkelderd. Tijdens het onderzoek bleven de koeien op stal en werd er geen weidegang toegepast, om complicaties bij de berekening van de balansen te minimaliseren.



Figuur 1 Plattegrond van vrijloopstal Wiersma, met linksboven de vrijloopbedding (geel), rechts daarvan het melkgedeelte met roostervloer (grijs gearceerd), onder de vrijloopbedding een roostervloer, daaronder de voergang (wit), onder de voergang een roostervloer (links en midden) en een strobed (rechts, geel)

De vloer onder de vrijloopbedding bestond uit betonplaten van 2 x 2 m, met op de scheiding tussen de platen de beluchtingsbuizen (Figuur 2). De buizen lagen in de lengterichting van de stal, op een onderlinge afstand van 2 m, met beluchtingsgaatjes in de buizen op een onderlinge afstand van 25 tot 30 cm. Dit gaf gemiddeld één beluchtingsgaatje per 0,57 m². Met een centrale ventilator werd buitenlucht via de beluchtingsgaatjes door de bedding geblazen.



Figuur 2 Positie van de beluchtingsbuizen tussen de betonplaten

2.2 Beddingmanagement

De beoogde composteringsmethode bij vrijlooptal Wiersma bestond uit het gebruik van verse (loof)houtsnippers als beddingmateriaal, regelmatig bijstrooien van houtsnippers, compostering bij relatief hoge temperatuur, dagelijks frezen van de bedding en mechanische blaasbeluchting door de bedding. Het doel was om intensief, snel te composteren. Gekozen werd voor verse houtsnippers, omdat de ervaring was dat de energie voor compostering hieruit snel beschikbaar komt. Het composteringsproces startte met de aanvoer van een grote partij verse houtsnippers en daarna werden voortdurend nieuwe partijen verse houtsnippers bijgestrooid. De bedding werd gecomposteerd met een richttemperatuur van 50 tot 55°C. Het hoofddoel van de compostering was om voldoende vocht te verdampen en daarmee de bedding, vooral tijdens de winterperiode, voldoende droog te houden. Een neven doel was om de met mest uitgescheiden N in bacteriële biomassa te binden en daardoor N-vervluchtiging te verminderen. Er werd mechanisch belucht door iedere zes uur 15 minuten lang buitenlucht via de vloer door de bedding te blazen. De maximale capaciteit van de ventilator was 2040 m³ uur⁻¹ (afhankelijk van de tegendruk van de bedding kan de werkelijke capaciteit aanzienlijk lager liggen). De beluchting was bedoeld om zuurstof in de bedding te brengen en waterdamp uit de bedding te blazen. Iedere dag werd de bedding gefreesd tot een diepte van 25 tot 30 cm (Maschio frees, 100 pk tractorvermogen). Bij een beddinghoogte tussen de 30 en 50 cm ontstond er dan een onbewerkte onderlaag. Het doel van deze onderlaag was om een betere zijwaartse verdeling van lucht uit de vloer in de bedding te realiseren. Het frezen was bedoeld om de toplaag schoon te houden en de uitgescheiden mest goed te mengen met de houtsnippers; de verwachting was dat een goed gemengde laag een optimale compostering, een goede vochtafvoer en maximale vastlegging van N zou geven. Frezen verkleint daarnaast ook de houtsnippers, waardoor er meer energie voor compostering beschikbaar kan komen.

2.3 Gegevensverzameling

De N-, P- en K-balans (afgekort NPK-balans) werd berekend voor de periode tussen 13 november 2013 en 8 juli 2014. De balansperiode duurde daarmee bijna acht maanden (237 dagen). Om de NPK-balans te kunnen berekenen en het composteringsproces te kunnen volgen werden er op het bedrijf metingen uitgevoerd en gegevens verzameld. Een deel van de metingen werd door de melkveehouder uitgevoerd, de rest door een medewerker van Livestock Research.

2.3.1 Gegevensverzameling door de melkveehouder

Om inzicht te krijgen in het verloop van het composteringsproces werd door de melkveehouder iedere drie dagen de beddingtemperatuur en -hoogte gemeten. De temperatuur werd gemeten op een diepte van 5, 15, 25 en 35 cm met een temperatuurmeter, bestaande uit een Testo 110 meetunit en een speciaal gemaakte stevige stalen insteekvoeler (Testo, Almere). De voeler had een totale lengte van 1,0 m en een diameter van 12 mm; de tip van de voeler had een lengte van 16 mm en een diameter van 5 mm. De opnemer in de tip van de voeler was temperatuurgeïsoleerd van de rest van de voeler. De beddingtemperatuur en -hoogte werden gemeten op de diagonale lijn van de bedding (van de ene hoek naar de andere), op vier plaatsen op regelmatige afstand van elkaar. De metingen startten op 23 november.

De melkveehouder hield verder de volgende gegevens bij:

- het dagelijkse aantal aanwezige dieren per diercategorie
- het dagelijkse gevoerde ruwvoerrantsoen per diercategorie (hoeveelheid en samenstelling)
- het gevoerde krachtvoerrantsoen per diercategorie (hoeveelheid en samenstelling)
- de bijgestrooide houtsnippers (hoeveelheid en aanvoerdatum)
- de aan- en afvoer van drijfmest uit de drijfmestkelder (volume en datum)
- het dagelijkse regime van beddingmanagement (beluchting en bewerking)

2.3.2 Gegevensverzameling bij een bedrijfsbezoek

Tijdens de balansperiode werd het bedrijf iedere twee tot drie weken bezocht door een medewerker van Livestock Research. Het eerste bedrijfsbezoek was op 15 november 2013 en het laatste op 8 juli 2014. In totaal werd het bedrijf 14 keer bezocht. Bij ieder bedrijfsbezoek werden een aantal beddingeigenschappen gemeten en werd de bedding bemonsterd. Ook werd het drijfmestpeil in de drijfmestkelder gemeten en werd de drijfmest bemonsterd. Daarnaast werden monsters genomen van tussentijds aangevoerde partijen houtsnippers. De gevolgde methodiek bij de bovenstaande metingen is beschreven bij de berekening van de balanspost waarvoor deze meting nodig was (paragraaf 2.5).

2.4 Methodiek voor berekening NPK-balans en N-verlies uit de stal

De cumulatieve (oplopende) NPK-balans van de vrijloopstal werd voor ieder meetmoment (=bedrijfsbezoek) berekend. De NPK-balans werd berekend als het verschil tussen de totale hoeveelheid NPK die tijdens een periode in de vrijloopstal werd aangevoerd minus de hoeveelheid NPK die tijdens deze periode werd vastgelegd. NPK werd aangevoerd met de balansposten strooisel, ruwvoer en krachtvoer, en vastgelegd in de balansposten drijfmest, bedding, melk en dieren. In formulevorm:

$$\begin{aligned} \text{NPK-balans} &= \text{NPK-aanvoer} - \text{NPK-vastlegging} \\ \text{NPK-aanvoer} &= \text{NPK}_{\text{strooisel}} + \text{NPK}_{\text{ruwvoer}} + \text{NPK}_{\text{krachtvoer}} \\ \text{NPK-vastlegging} &= \text{NPK}_{\text{drijfmest}} + \text{NPK}_{\text{bedding}} + \text{NPK}_{\text{melk}} + \text{NPK}_{\text{dieren}} \end{aligned}$$

De hoeveelheden NPK per balanspost werden berekend met behulp van de gemeten en verzamelde gegevens (paragraaf 2.5). De P- en K-balans werden op dezelfde manier berekend als de N-balans. Omdat P en K niet uit de stal verloren gaan door vervluchtiging of uitspoeling, hoort bij deze balansen de vastlegging gelijk te zijn aan de aanvoer. Een overschot of tekort op de P- of K-balans was het gevolg van systematische en toevallige fouten bij het verzamelen van de gegevens. Omdat de gegevens voor de P- en K-balans op dezelfde manier werden verzameld als de gegevens voor de N-balans, en de balansen op dezelfde manier werden berekend, was de meetfout voor de drie balansen waarschijnlijk grotendeels vergelijkbaar. Afwijkingen op de P- en K-balans konden daarom gebruikt worden om de N-balans te corrigeren voor meetfouten. Verwacht werd dat met deze correctie het N-verlies nauwkeuriger berekend kon worden dan zonder correctie. Er is geen standaard aanpak om deze correctie uit te voeren. In dit onderzoek is de keuze gemaakt om een afwijking op de P-balans te gebruiken om de P-balans te corrigeren, een afwijking op de K-balans om de K-balans te corrigeren, en het gemiddelde van de afwijking op de P- en K-balans om de N-balans te corrigeren. Omdat het niveau van de meetfout per balanspost niet bekend was, werd de keuze gemaakt om de correctie voor de totale afwijking op de balans evenredig te verdelen over de balansposten. De P- en K-balans werden gecorrigeerd door zowel de totale aanvoer als de totale vastlegging met de helft van de geconstateerde afwijking te corrigeren. Een voorbeeld: bij een overschot op de P balans van 10% werd de totale P-aanvoer met 5% verhoogd en de P-vastlegging met 5% verlaagd. De P-aanvoerposten werd hiervoor vermenigvuldigd met factor 1,05 en de P-vastleggingsposten met factor 0,95. Voor correctie van de N-aanvoerposten en N-vastleggingsposten werden het gemiddelde van de correctiefactoren voor de P- en K-balans gebruikt, voor zowel de aanvoerposten als de vastleggingsposten.

Het verschil tussen de gecorrigeerde N-aanvoer en gecorrigeerde N-vastlegging was het N-verlies door vervluchtiging uit de stal, zowel uit de bedding als ook vanaf de roostervloer en uit de drijfmestkelder. Het N-verlies kan op verschillende manieren worden uitgedrukt, bijvoorbeeld om aan te sluiten bij het uitdrukken van N-verlies voor andere staltypen maar ook om een duidelijker beeld te krijgen van de betekenis van het niveau van N-verlies. N-verlies werd daarom uitgedrukt als percentage van de N-aanvoer op de stalvloer, als percentage van N-excretie met mest op de stalvloer en per kg geproduceerde melk. N-verlies, uitgedrukt als percentage van de N-aanvoer op de stalvloer, geeft een indruk hoeveel er van de op de vloer aanwezige N verloren gaat. N-aanvoer op de stalvloer tijdens de balansperiode werd berekend als: $N_{\text{strooisel}} + N_{\text{excretie}} \cdot N_{\text{excretie}}$ werd berekend als: $N_{\text{ruwvoer}} + N_{\text{krachtvoer}} -$

$N_{\text{melk}} - N_{\text{dieren}}$. Deze berekeningen werden uitgevoerd op basis van de gecorrigeerde N-balans. N-verlies, uitgedrukt als percentage van N-excretie, geeft de mogelijkheid tot snelle vergelijking met het N-verlies uit een referentie ligboxenstal. N-vervluchtiging uit de ligboxenstal wordt meestal uitgedrukt in kg N per dierplaats per jaar. De term 'dierplaats' is echter wat algemeen gedefinieerd en houdt geen rekening met het productieniveau van de dieren. Dit is wel het geval bij het uitdrukken van N-verlies per kg melk. Een kanttekening hierbij is dat er niet zuiver vergeleken kan worden tussen vrijloopstallen met verschillen in de bezettingsgraad van jongvee (N.B.: jongvee produceert geen melk maar draagt wel bij aan het N-verlies uit de stal).

De PK-excretie werd op dezelfde manier berekend als de N-excretie. Met behulp van de PK-excretie werd het percentage PK-excretie op de bedding berekend als: $(PK_{\text{bedding}} - PK_{\text{strooisel}}) / PK_{\text{excretie}}$. Het percentage PK-excretie op de roostervloer werd berekend als: $100\% - \% \text{ PK-excretie op bedding}$. De verdeling van N-excretie over bedding en roostervloer kon niet rechtstreeks worden berekend, omdat een deel van de N-excretie kon vervluchten en het percentage vervluchtiging kon verschillen tussen bedding en roostervloer. Voor berekening van de verdeling was het nodig om te weten welk percentage van de urine en feces op de bedding terecht kwam en hoe de NPK-excretie was verdeeld over urine en feces. De verdeling van de NPK-excretie over urine en feces was niet bekend voor vrijloopstal Wiersma; daarom werd gebruik gemaakt van de gegevens uit een andere studie (Gustafson, 2000) (Tabel 1).

Tabel 1

Verdeling van de NPK-excretie door melkkoeien over urine en feces (Gustafson, 2000).

	N	P	K
Excretie met urine (%)	62	0	82
Excretie met feces (%)	38	100	18

Het percentage feces dat op de bedding terecht kwam werd berekend als: $\% \text{ P-excretie op bedding} / \% \text{ P-excretie met feces}$ (Tabel 1). Het percentage urine dat op de bedding terecht kwam werd berekend als: $(\% \text{ K-excretie op bedding} - (\% \text{ feces op bedding} * \% \text{ K-excretie met feces})) / \% \text{ K-excretie met urine}$. Het percentage N-excretie op de bedding werd berekend als: $(\% \text{ feces op bedding} * \% \text{ N-excretie met feces}) + (\% \text{ urine op bedding} * \% \text{ N-excretie met urine})$.

Met het percentage N-excretie op de bedding werd berekend hoeveel N er op ieder meetmoment in de bedding aanwezig zou moeten zijn: $(\% \text{ N-excretie op bedding} * N_{\text{excretie}} + N_{\text{strooisel}})$. N-verlies uit de bedding werd vervolgens berekend als: $N_{\text{excretie (bedding)}} + N_{\text{strooisel}} - N_{\text{bedding}}$. Dezelfde berekeningen werden ook gedaan voor de roostervloer.

De N-vervluchtiging uit een referentie ligboxenstal (met jaarrond opstallen) werd berekend op 10,6% van de N-excretie op basis van Velthof et al. (2009), gecorrigeerd voor het effect van een recente verhoging van de referentie NH_3 -emissiefactor met 23% (Ogink, 2012). N vervluchtigt niet alleen uit de stal, maar ook tijdens en na het uitrijden van de mest op het land¹. Het is daarom noodzakelijk om bij de beoordeling van b.v. de milieubelasting van een stal de vervluchtiging uit de stal en na aanwending van mest op het land gezamenlijk te beoordelen. Daarom werd voor vrijloopstal Wiersma een indicatieve berekening gemaakt van de N-vervluchtiging inclusief het uitrijden van mest op het land. Deze vervluchtiging werd vergeleken met de totale N-vervluchtiging van de referentie ligboxenstal. De (indicatieve) N-vervluchtiging na het emissiearm uitrijden (zodebemesten) van drijfmest op grasland werd op basis van Velthof et al. (2009) berekend op 9,6% van de N in uit te rijden drijfmest en op 8,5% van de N-excretie in de stal. De totale N-vervluchtiging bij de referentie ligboxenstal werd daarmee berekend op 19,1% van de N-excretie. Dat betekent dat bijna de helft (45%) van de totale vervluchtiging na het uitrijden van mest plaats heeft. De verwachte N-vervluchtiging na het uitrijden van (stabiele) vrijloopstalcompost op het land is verwaarloosbaar klein

¹ Er kan ook N-vervluchtiging optreden wanneer de vrijloopstalcompost tijdelijk op het erf wordt opgeslagen. Het niveau van deze vervluchtiging is niet bekend en deze mogelijke bijdrage is voorlopig buiten beschouwing gelaten

(De Boer, 2013). Op basis van de hoeveelheid aanwezige N in drijfmest en compost werd voor de vrijloopstal de indicatieve N-vervluchtiging bij het uitrijden op grasland berekend als: $N_{\text{bedding}} * 0 + N_{\text{drijfmest}} * 0,096$.

2.5 Metingen en berekeningen per balanspost

2.5.1 $NPK_{\text{strooisel}}$

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd aangevoerd met strooisel werd berekend als: hoeveelheid strooisel * NPK-gehalte strooisel. Strooisel bestond bij vrijloopstal Wiersma uit (verse) loofhoutsnippers, afkomstig uit houtwallen en plantsoenen in de omgeving. De aangevoerde hoeveelheden werden omgerekend van volume naar gewicht met behulp van een bulkdichtheid (los gestort) van $0,28 \text{ kg L}^{-1}$. Deze bulkdichtheid was eerder bepaald aan partijen houtsnippers aangevoerd door Wiersma en een andere melkveehouder. Monsters van nog aanwezige partijen houtsnippers of apart gehouden materiaal werden verzameld tijdens het bedrijfsbezoek op 15 november, 27 december en 21 maart. Deze monsters werden door het ETE servicelaboratorium (vakgroep Milieutechnologie, Wageningen) geanalyseerd op drogestof, as, totaal N, totaal P, totaal K en totaal C. De NPK-aanvoer werd voor houtsnippers aangevoerd t/m 10 december berekend met de analyse van het monster van 15 november, voor de aanvoer t/m 19 februari met de analyse van het monster van 27 december, en de aanvoer t/m 12 maart met de analyse van het monster van 21 maart. Met de berekende aanvoer van de hoeveelheid houtsnippers en NPK met houtsnippers per aanvoerdatum werd vervolgens de cumulatieve aanvoer van houtsnippers en NPK met houtsnippers per meetmoment berekend voor de balansperiode.

2.5.2 NPK_{ruwvoer}

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd aangevoerd met ruwvoer werd per dag berekend als: hoeveelheid gevoerd product per ruwvoersoort * NPK-gehalten per ruwvoersoort. Met de NPK-aanvoer per dag werd vervolgens de cumulatieve NPK-aanvoer per meetmoment berekend voor de balansperiode. Er was sprake van twee verschillende ruwvoerrantsoenen: een rantsoen voor de melkgevende koeien en een rantsoen voor het overige vee in de vrijloopstal (droogstaande koeien, vaarzen en jongvee). Het ruwvoer bestond uit grashooi en graskuil. De gevoerde hoeveelheden werden door de melkveehouder per soort gewogen in de voermengwagen en per dag bijgehouden. De NPK-gehalten in de diverse graskuilen waren bepaald door Bgg AgroXpertus (Wageningen); voor grashooi (kwaliteit 'gemiddeld') werden de NPK-gehalten uit de Veevoedertabel gebruikt (CVB, 2011).

2.5.3 $NPK_{\text{krachtvoer}}$

Het gevoerde krachtvoer in de vrijloopstal bestond uit vochtrijk krachtvoer en mengvoer. Vochtrijk krachtvoer werd alleen aan de melkgevende koeien verstrekt. De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd aangevoerd met vochtrijk krachtvoer werd per dag berekend als: hoeveelheid gevoerd product per krachtvoersoort * NPK-gehalten per krachtvoersoort. Met de NPK-aanvoer per dag werd vervolgens de cumulatieve NPK-aanvoer per meetmoment berekend voor de balansperiode. Het vochtrijke krachtvoer bestond uit bierbostel, aardappelstoomschillen en erwtenpersvezel. De gevoerde hoeveelheden werden door de melkveehouder per soort gewogen in de voermengwagen en per dag bijgehouden. De gebruikte NPK-gehalten waren afkomstig van de leverancier.

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd aangevoerd met mengvoer werd per dag berekend als: aantal aanwezige dieren per diercategorie per dag * gemiddeld verbruik van NPK met mengvoer per dier per diercategorie per dag. Met de NPK-aanvoer per dag werd vervolgens de cumulatieve NPK-aanvoer per meetmoment berekend voor de balansperiode. Mengvoer werd alleen verstrekt aan de melkgevende koeien en kalveren. Al het mengvoer werd geleverd door één leverancier. Het dagelijkse verbruik van NPK met mengvoer door de melkgevende koeien werd berekend door tijdens een meetperiode de totale verbruikte hoeveelheid te corrigeren voor het verbruik door kalveren. De start- en einddatum van de meetperiode werd gekozen op basis van het bestelpatroon voor mengvoer.

Hierbij was de aanname dat op de start- en einddatum de voorraad mengvoer op het bedrijf (bijna) verbruikt was, wat aanleiding gaf voor een nieuwe bestelling en levering.

De tijdens de meetperiode verbruikte hoeveelheid mengvoer en NPK in mengvoer werd berekend als: geleverde hoeveelheid product per soort * NPK-gehalten per soort. Het dagelijkse verbruik van NPK door kalveren werd berekend als: dagelijkse aantal aanwezige kalveren * verbruikte hoeveelheid mengvoer per soort per dag * NPK-gehalten per soort. Na correctie van het totale mengvoerverbruik met het verbruik door de kalveren werd het dagelijkse gemiddelde NPK verbruik per melkgevende koe berekend als: gecorrigeerd NPK verbruik tijdens meetperiode / aantal dagen meetperiode / gemiddeld aantal aanwezige koeien tijdens meetperiode. Tenslotte werd met de dagelijkse NPK-aanvoer met vochtrijk krachtvoer en mengvoer de cumulatieve totale NPK-aanvoer met krachtvoer per meetmoment berekend voor de balansperiode.

2.5.4 NPK_{drijfmest}

De hoeveelheid NPK die tijdens de balansperiode in de vrijloopstal werd vastgelegd in geproduceerde drijfmest werd berekend op basis van de toename in hoeveelheid NPK in drijfmest in de kelder in de periode tussen 15 november 2013 en 28 februari 2014. Na het bedrijfsbezoek op 28 februari werden meerdere grote partijen drijfmest uitgereden op het land en werden partijen runderdrijfmest van buiten het bedrijf in de kelder aangevoerd. Hoewel de uitgereden en aangevoerde volumes werden vastgelegd, evenals de N- en P-aanvoer met deze drijfmest, nam door de veranderingen het aantal foutbronnen toe en daardoor waarschijnlijk ook de meetfout. In de periode tussen 15 november en 28 februari (105 dagen) werd de drijfmest in de kelder niet verstoord; daarom werd deze periode beschouwd als de meest zuivere meetperiode om de drijfmestproductie en NPK-vastlegging in drijfmest te berekenen.

De hoeveelheid NPK in drijfmest in de kelder werd berekend als: volume drijfmest * dichtheid drijfmest * NPK-gehalte drijfmest. Het drijfmestvolume in de kelder werd berekend als: drijfmesthoogte * oppervlakte keldervloer. De drijfmesthoogte werd bij ieder bedrijfsbezoek gemeten. De drijfmestkelder van vrijloopstal Wiersma bestond uit vijf onderscheiden compartimenten met een totale vloeroppervlakte van 956 m² (Tabel 2). De drijfmesthoogte werd op 10 tot 20 punten gemeten, waarbij een gelijke verdeling van de meetpunten over de compartimenten werd nagestreefd (N.B.: bij het eerste bedrijfsbezoek was het aantal meetpunten beperkt tot drie). De gemiddelde drijfmesthoogte in de kelder werd per meetmoment berekend door per keldercompartiment de gemiddelde gemeten drijfmesthoogte te vermenigvuldigen met het aandeel van dat compartiment in het totale kelderoppervlak (Tabel 2).

Tabel 2

Oppervlakte van de drijfmestkeldervloer per keldercompartiment en het aandeel van ieder compartiment in het totale vloeroppervlak.

Keldercompartiment	Oppervlakte (m ²)	Aandeel compartiment (%)
Wachtruimte	182	19
Melkvee diep	141	15
Melkvee ondiep	47	5
Jongvee/droge koeien	458	48
Opslag	128	13
Totaal	956	100

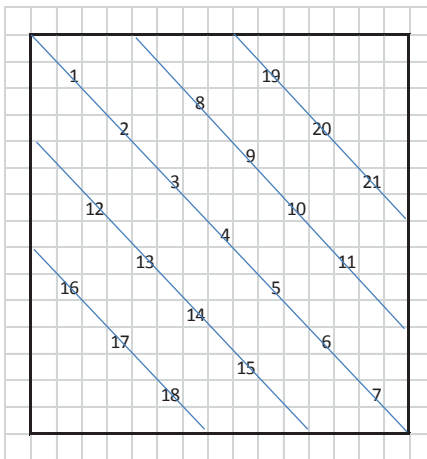
Per twee bedrijfsbezoeken werd de drijfmest bemonsterd op dezelfde plekken waar de drijfmesthoogte werd gemeten. Voor de bemonstering werd een multisampler gebruikt (lengte 1,8 m; diameter 35 mm) (Eijkelkamp, Giesbeek). De multisampler werd door de roosters gestoken om de monsters te kunnen nemen. De 10 tot 20 submonsters werden samengevoegd tot een verzamelmonster. Alle verzamelmonsters werden door het ETE-servicelaboratorium geanalyseerd op dichtheid, drogestof, as, totaal N, totaal P, totaal K en totaal C.

Voor de meetmomenten waarop de drijfmest niet was bemonsterd werd de gemiddelde samenstelling van de voorgaande en de volgende bemonstering gebruikt om de hoeveelheid aanwezige NPK in drijfmest te berekenen. Met lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) werd de relatie tussen de toename van de hoeveelheid drijfmest en NPK in drijfmest in kelder en de tijd (datumwaarde) geanalyseerd. Het verloop in aantal aanwezige dieren per diercategorie werd als verklarende variabele aan het model toegevoegd om vast te stellen of hierdoor de relatie verbeterde. Met de afgeleide relaties werd de cumulatieve geproduceerde hoeveelheid drijfmest en NPK in drijfmest per meetmoment berekend voor de balansperiode.

2.5.5 NPK_{bedding}

De hoeveelheid NPK die tijdens de balansperiode in de vrijloopstal werd vastgelegd in de bedding werd per meetmoment berekend als: hoogte bedding * oppervlakte bedding * bulkdichtheid bedding * NPK-gehalte bedding.

De bedrijfsbezoeken werden uitgevoerd vlak na het frezen van de bedding, waarbij de bedding los in de stal lag. De beddinghoogte werd per bedrijfsbezoek gemeten op 21 posities verdeeld over het beddingoppervlak (Figuur 3) en daarna gemiddeld. De bulkdichtheid werd per bedrijfsbezoek gemeten op drie posities op de diagonale lijn van de bedding (posities 2, 4 en 6 in Figuur 3). De bulkdichtheid werd bepaald door een emmer met een volume van 5 L te vullen met beddingmateriaal en dit licht aan te drukken, overeenkomstig hoe het materiaal in de stal lag. Vervolgens werd het gewicht gedeeld door het volume. De bulkdichtheid werd gemiddeld over de drie meetposities. Naast de bulkdichtheid werd ook de porositeit (het luchtgehalte) van de bedding bepaald. De volle emmer werd daarvoor aangevuld met water tot het niveau van 5 L en opnieuw gewogen. Het verschil in gewicht tussen de volle emmer met en zonder water is een indicatie voor het volume lucht in de bedding, bij aanname dat alle poriën gevuld worden met water. De porositeit werd berekend als: (gewicht emmer met water - gewicht emmer zonder water) / volume emmer. De porositeit werd eveneens gemiddeld over de drie meetposities. De porositeit werd bepaald vanaf 27 december. Bij alle metingen met gebruik van emmers werd gecorrigeerd voor het gewicht van de emmers.



Figuur 3 Meetpatroon voor bepaling van de gemiddelde beddinghoogte

De deeltjesgrootte van de bedding werd bepaald op de drie plaatsen op de diagonale lijn. De emmer van 5 L werd gevuld met bedding, gewogen en gezeefd over twee zeven met vierkante mazen; eerst over een zeef met een maaswijdte van 12 x 12 mm en daarna over een zeef met een maaswijdte van 6 x 6 mm. Het overblijvende materiaal op beide zeven werd gewogen. Op basis van de gewichten kon het percentage deeltjes > 12 mm, > 6 < 12 mm en < 6 mm worden berekend. De deeltjesgrootte werd bepaald vanaf 10 januari.

De bedding werd ieder bedrijfsbezoek over de hele laag bemonsterd om de samenstelling te bepalen. Tussen 15 november en 14 januari was het materiaal te grof om met een gutsboor te bemonsteren. Tot en met 14 januari werd de bedding daarom op drie plaatsen op de diagonale lijn bemonsterd (Figuur 3; posities 2, 4 en 6). Deze drie submonsters werden samengevoegd tot een

verzamelmonster. Vanaf 14 januari werd de bedding bemonsterd met een gutsboor (diameter 3,5 cm) (Eijkelkamp, Giesbeek) in overeenstemming met het patroon in Figuur 3. De 21 submonsters werden samengevoegd tot een verzamelmonster. Alle verzamelmonsters werden door het ETE-servicelaboratorium geanalyseerd op drogestof, as, totaal N, totaal P, totaal K, totaal C, NH₄-N, NO₃-N en pH (in water).

2.5.6 NPK_{melk}

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd vastgelegd in geproduceerde melk werd berekend als: hoeveelheid aan de melkfabriek geleverde melk * NPK-gehalte melk. De geleverde hoeveelheden melk, het eiwitgehalte, vetgehalte en ureumgetal werden per drie dagen gemeten en geregistreerd door de melkfabriek. Deze gegevens werden voor de balansberekeningen overgenomen van de leveringsoverzichten. Het N-gehalte in de geproduceerde melk werd berekend als: melkeiwitgehalte * 15,7%. Het gebruikte N-gehalte in melkeiwit van 15,7% was afkomstig van CBS (2011). Voor het P- en K-gehalte werd een standaardwaarde gebruikt van respectievelijk 1,0 en 1,6 g kg⁻¹ melk (CBS, 2011). Per dag werd volgens opgave van de melkveehouder gemiddeld 10 kg melk gesepareerd en afgevoerd naar de drijfmestkelder. Deze hoeveelheid werd niet meegenomen bij berekening van de vastlegging van NPK in melk. Met de berekende gegevens per drie dagen werd per meetmoment de cumulatieve hoeveelheid geleverde melk en de vastgelegde NPK in melk berekend voor de balansperiode.

2.5.7 NPK_{dieren}

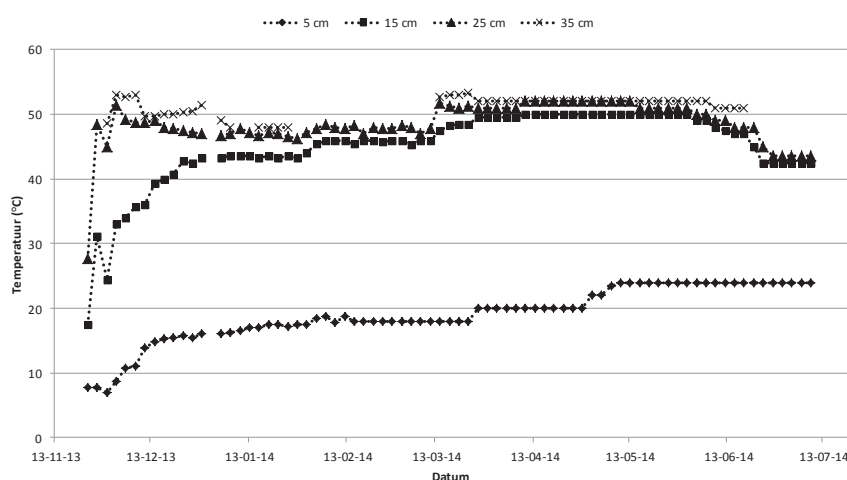
De hoeveelheid NPK vastgelegd in dieren kan bestaan uit NPK vastgelegd in geboren kalveren, in groeiende jonge dieren en in volwassen dieren. De NPK-vastlegging in geboren kalveren en groeiende dieren is verwaarloosbaar klein vergeleken met de andere vastleggingsposten op de balans (0,6 tot 1,2% van de totale vastlegging op de N-balans, 1,0 tot 1,8% op de P-balans en <0,1% op de K-balans). In volwassen, melkgevende koeien kan zowel sprake zijn van NPK-vastlegging als van NPK-mobilisatie. Dit is in de praktijk echter niet eenvoudig te meten. Verwacht mag worden dat er bij een normaal presterende veestapel geen sprake is van NPK-vastlegging of -mobilisatie van betekenis. Op grond daarvan werd besloten de post 'NPK-vastlegging in dieren' op de balans op nul te zetten.

3 Resultaten

3.1 Beddingeigenschappen

3.1.1 Beddingtemperatuur

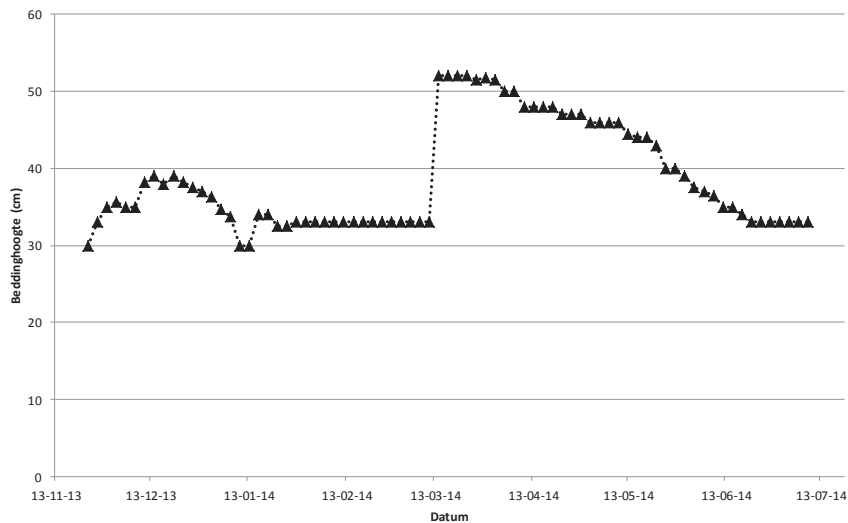
De temperatuur in de bedding varieerde tijdens de balansperiode op 5 cm diepte tussen de 6 en 24°C, op 15 cm tussen de 16 en 50°C, op 25 cm tussen de 24 en 55°C en op 35 cm diepte tussen de 48 en 55°C (Figuur 4). De temperatuur op 5 cm diepte was altijd duidelijk lager dan dieper in de bedding, vanwege het afkoelende effect van de omgevingstemperatuur. De temperatuurontwikkeling over de tijd liet zien dat de bedding over het algemeen goed composteerde, met een temperatuurrange dieper in de bedding tussen de 40 en 55°C. Dit was lager dan de nagestreefde range van 50 tot 55°C.



Figuur 4 Ontwikkeling van de composteringstemperatuur in de bedding van de vrijloopstal tijdens de balansperiode op 5, 15, 25 en 35 cm diepte (ieder weergegeven punt is het gemiddelde van vier submetingen)

3.1.2 Beddinghoogte

De beddinghoogte varieerde tijdens de balansperiode tussen de 30 en 52 cm (Figuur 5). De toename in hoogte tot half december was het gevolg van de regelmatige aanvoer van houtsnippers. De aanzienlijke toename van 33 naar 52 cm tussen 11 en 14 maart was het gevolg van de aanvoer van een grote partij houtsnippers op 12 maart.

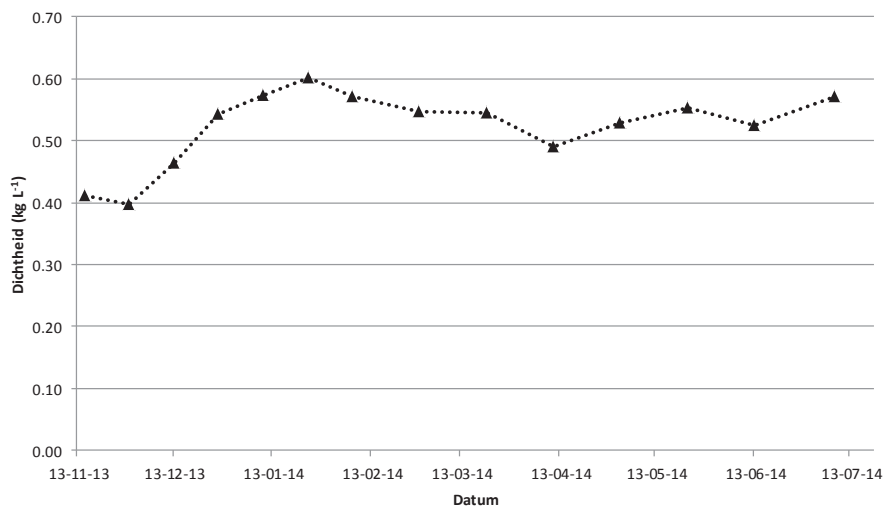


Figuur 5 Ontwikkeling van beddinghoogte in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

Tussen half maart en half juni nam de beddinghoogte geleidelijk af tot 33 cm en bleef daarna op dit niveau tot het einde van de balansperiode. Tussen half maart en eind juni werden geen nieuwe houtsnippers aangevoerd.

3.1.3 Dichtheid bedding

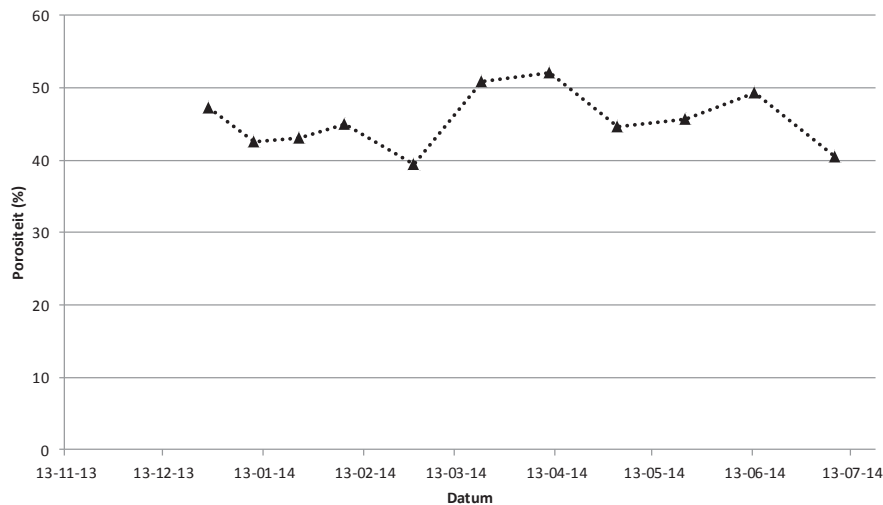
De dichtheid van de bedding varieerde tijdens de balansperiode tussen 0,40 en 0,60 kg L⁻¹ (Figuur 6). De dichtheid nam toe van 0,40 kg L⁻¹ aan het begin van de balansperiode tot 0,60 kg L⁻¹ eind januari, daalde daarna naar 0,49 kg L⁻¹ rond half mei en steeg vervolgens naar 0,57 kg L⁻¹ aan het einde van de balansperiode.



Figuur 6 Ontwikkeling van de dichtheid van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.1.5 Porositeit bedding

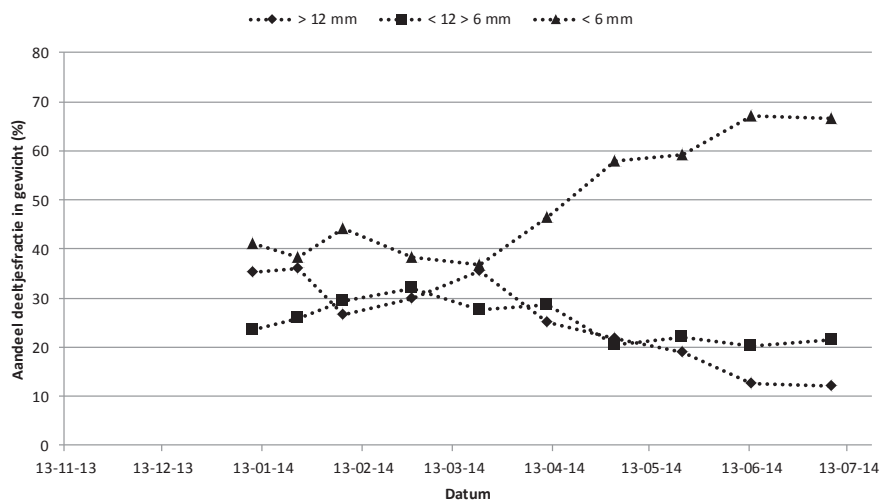
De porositeit van de bedding varieerde tussen de 39 en 52% (Figuur 7). De aanzienlijke toename in porositeit tussen eind februari en eind maart was het gevolg van de aanvoer van een grote partij houtsnippers op 12 maart. Eind februari en aan het einde van de balansperiode daalde de porositeit tot een ondergrens van 40%.



Figuur 7 Ontwikkeling van de porositeit van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.1.6 Deeltjesgrootte bedding

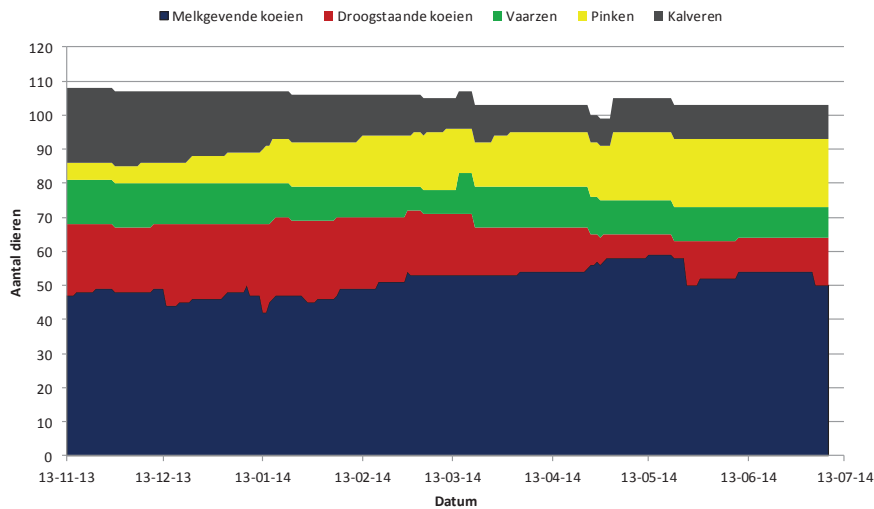
De deeltjesgrootte nam duidelijk af vanaf eind maart tot aan het einde van de balansperiode (Figuur 8). Het percentage deeltjes kleiner dan 6 mm nam toe van 37 tot 67%, het percentage deeltjes groter dan 12 mm nam af van 36 tot 12%, en het percentage deeltjes tussen 6 en 12 mm nam af van 29 tot 22%.



Figuur 8 Ontwikkeling van de deeltjesgrootte van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, aandeel deeltjesfractie in totaal gewicht

3.2 Samenstelling veestapel

Tijdens de balansperiode waren er gemiddeld 105 dieren in de vrijloopstal aanwezig. Deze gemiddelde veestapel was samengesteld uit 51 melkgevende koeien, 16 droogstaande koeien, 11 vaarzen, 14 pinken en 13 kalveren. Tijdens de balansperiode nam het aantal droogstaande koeien en kalveren af en nam het aantal pinken toe (Figuur 9).



Figuur 9 Ontwikkeling in samenstelling van de veestapel in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.3 Resultaten per balanspost

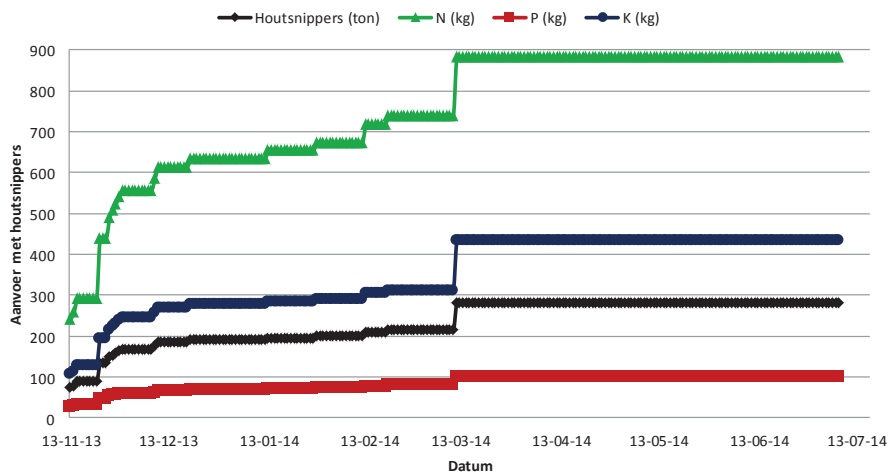
3.3.1 NPK_{strooisel}

De samenstelling van aangevoerde en bemonsterde partijen houtsnippers is gegeven in Tabel 3. In totaal werd tijdens de balansperiode 280 ton houtsnippers aangevoerd, met daarin 882 kg N, 101 kg P en 432 kg K (Figuur 10).

Tabel 3

Samenstelling van aangevoerde en bemonsterde houtsnippers op verschillende tijdstippen (in g kg⁻¹ product, behalve de berekende C/N-verhouding).

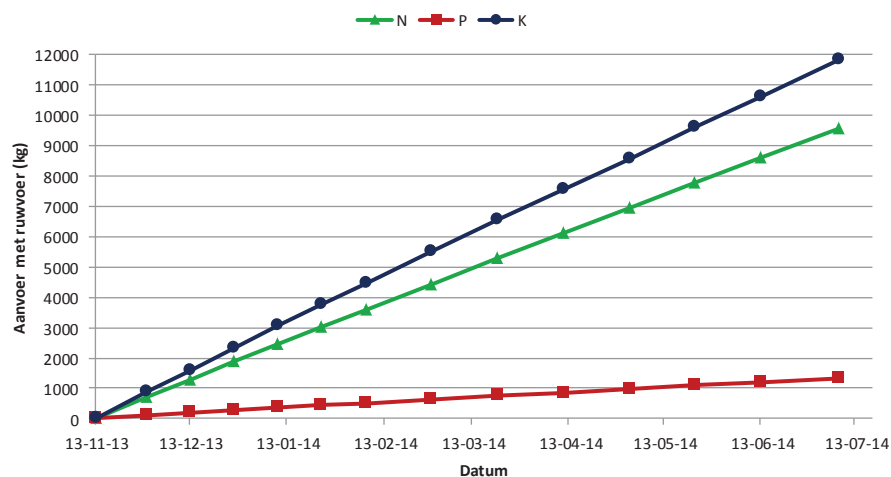
Datum	Ds	As	N	P	K	C	C/N
15-11-2013	514	19	3,34	0,35	1,46	289	86
27-12-2013	614	15	4,23	0,49	1,43	320	76
21-03-2014	663	18	2,15	0,32	1,80	339	158



Figuur 10 Cumulatieve aanvoer van houtsnippers en NPK met houtsnippers in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.3.2 $NPK_{ruwvoer}$

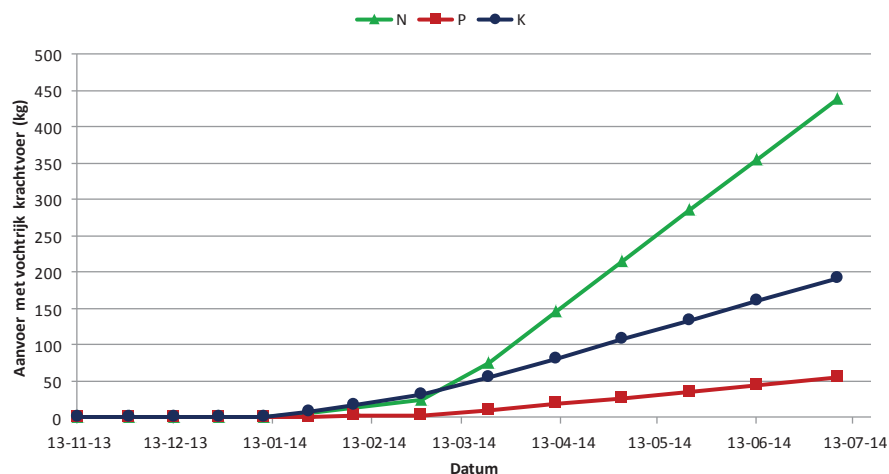
De gemiddelde dagelijkse NPK-aanvoer met ruwvoer voor de melkgevende koeien tijdens de balansperiode werd berekend op 469 g N, 63 g P en 556 g K per koe. In totaal werd met ruwvoer voor alle dieren in de vrijloopstal 9593 kg N, 1339 kg P en 11846 kg K aangevoerd (Figuur 11).



Figuur 11 Cumulatieve aanvoer van NPK met ruwvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.3.3 $NPK_{krachtvoer}$

De gemiddelde dagelijkse NPK-aanvoer met vochtrijk krachtvoer voor de melkgevende koeien tijdens de balansperiode werd berekend op 36 g N, 5 g P en 16 g K per koe. In totaal werd met vochtrijk krachtvoer 439 kg N, 55 kg P en 191 kg K in de vrijloopstal aangevoerd (Figuur 12). Vochtrijk krachtvoer werd verstrekt vanaf 15 januari, met een toename in gevoerde hoeveelheid en soorten producten vanaf 8 maart.



Figuur 12 Cumulatieve aanvoer van NPK met vochtrijk krachtvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

Voor de berekening van het gemiddelde dagelijkse verbruik van NPK met mengvoer werd als meetperiode de periode van 30 september tot 20 augustus gekozen (324 dagen). Een overzicht van de besteldatum, de geleverde hoeveelheden mengvoer per soort en hun NPK-gehalten werd verstrekt door de leverancier (Tabel 4).

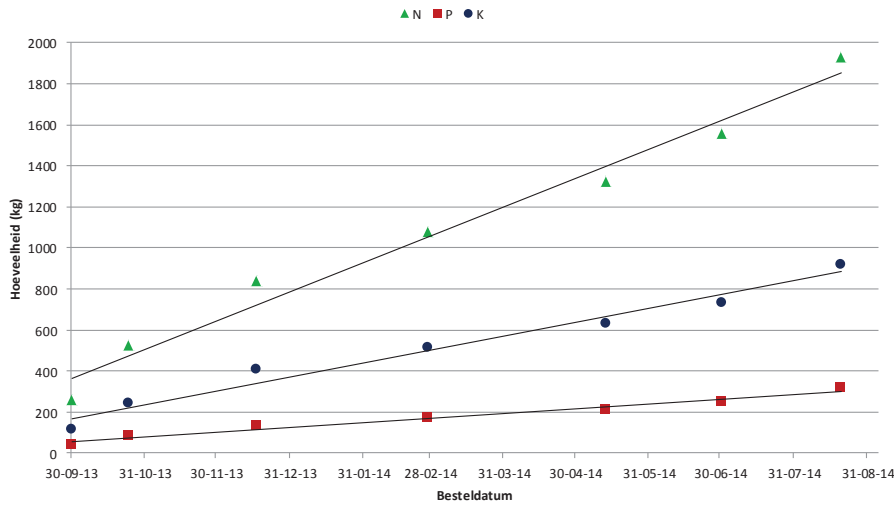
Tabel 4

Hoeveelheden geleverd mengvoer en NPK met mengvoer per levering per soort voor de periode tussen 30 september 2013 en 20 augustus 2014.

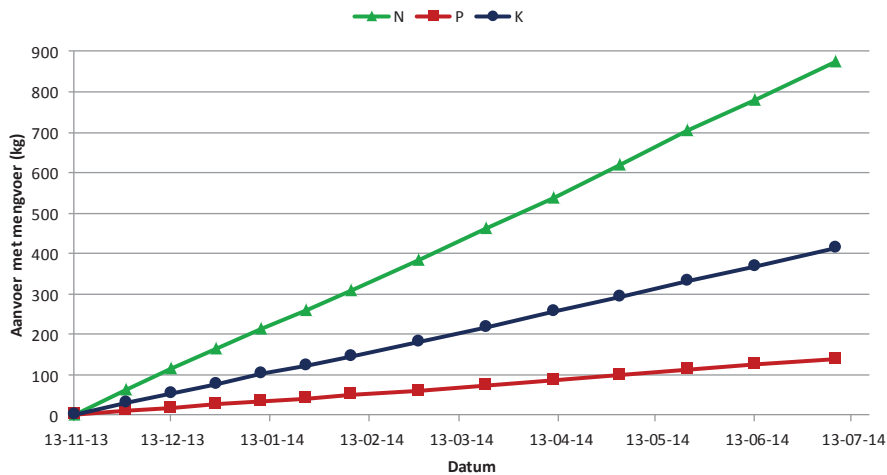
Leverdatum	Code	Soort	Product (kg)	Gehalten (g kg ⁻¹ product)			NPK-aanvoer (kg)		
				N	P	K	N	P	K
30-09-2013	6204	RVB	9834	26,4	4,2	11,3	260	41	111
24-10-2013	5070	Protex Gras	10016	26,4	4,0	12,7	265	40	127
17-12-2013	5020	Euro Rood	1980	25,5	3,1	11,5	51	6	23
17-12-2013	5070	Protex Gras	9980	26,2	4,4	14,4	262	44	144
27-02-2014	6204	RVB	9718	24,8	4,2	11,0	241	41	107
13-05-2014	5020	Euro Rood	1994	25,6	4,3	15,3	51	9	31
13-05-2014		RVB	7980	24,2	3,8	10,9	193	30	87
01-07-2014		RVB	9732	24,0	3,8	10,4	233	37	101
20-08-2014	5060	Allround	3940	26,4	4,8	13,3	104	19	52
20-08-2014	5060	Allround	10200	26,4	4,8	13,3	269	49	136

De totale NPK-aanvoer met mengvoer tijdens de meetperiode werd berekend op 1555 kg N, 249 kg P en 731 kg K. Er waren twee groepen kalveren op het bedrijf; een groep gehuisvest in de vrijloopstal en een groep gehuisvest in een aparte schuur buiten de vrijloopstal. De groep in de vrijloopstal kreeg 1 kg mengvoer per dier per dag als Euro Rood (Tabel 4). De NPK-aanvoer met mengvoer voor deze groep werd berekend op basis van het gemiddelde NPK-gehalte van het geleverde Euro Rood. De groep kalveren in de schuur kreeg in totaal tussen de 30 en 40 kg mengvoer per dag uit de silo voor de melkgevende koeien; gerekend is met gemiddeld 35 kg per dag. De NPK-aanvoer met mengvoer voor deze groep kalveren werd berekend op basis van het gemiddelde NPK-gehalte van de zes leveringen van mengvoer voor het melkvee (RVB en Protex Gras). Het totale verbruik door kalveren tijdens de meetperiode werd berekend op 396 kg N, 62 kg P en 191 kg K. Het aandeel van de kalveren in de vrijloopstal hierin was 109 kg N, 16 kg P en 57 kg K. Na correctie van het totale NPK-verbruik met mengvoer voor het verbruik door de kalveren werd het verbruik door melkgevende koeien tijdens de meetperiode berekend op 1159 kg N, 187 kg P en 541 kg K. Op basis van het gemiddelde aantal melkgevende koeien tijdens de meetperiode werd het gemiddelde dagelijkse verbruik van NPK met mengvoer per melkgevende koe berekend op 65 g N, 11 g P en 30 g K. Er is bij de berekening van de NPK-aanvoer met mengvoer voor de melkgevende koeien uitgegaan van een

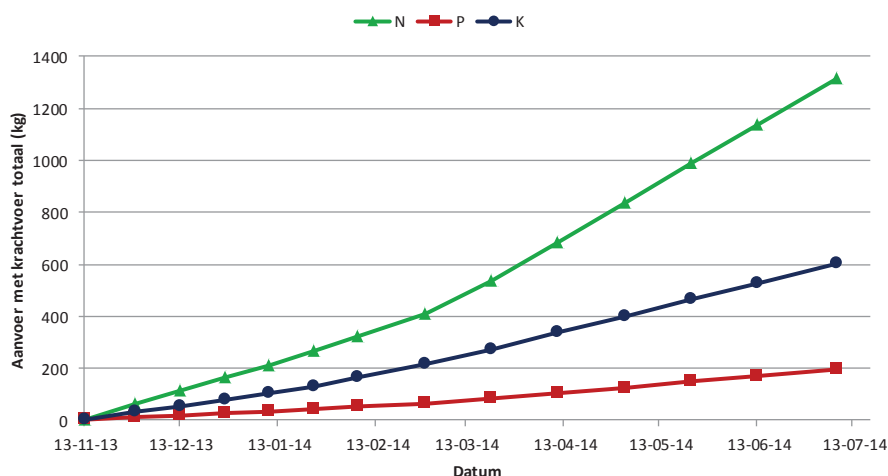
gemiddelde verstrekking per dier per dag over de hele balansperiode. Het is mogelijk dat er gedurende perioden meer of minder krachtvoer dan het gemiddelde werd verstrekt. Sterke lineaire relaties tussen cumulatieve bestelde hoeveelheden NPK met mengvoer en de tijd gaven echter niet direct aanleiding dat te veronderstellen (Figuur 13). In totaal werd tijdens de balansperiode met mengvoer voor alle dieren in de vrijloopstal 875 kg N, 140 kg P en 413 kg K aangevoerd (Figuur 14). In totaal werd tijdens de balansperiode met al het krachtvoer voor alle dieren in de vrijloopstal 1313 kg N, 194 kg P en 604 kg K aangevoerd (Figuur 15).



Figuur 13 Cumulatieve aanvoer van NPK met mengvoer op het bedrijf tijdens de meetperiode



Figuur 14 Cumulatieve aanvoer van NPK met mengvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode



Figuur 15 Cumulatieve aanvoer van NPK met al het krachtvoer (vochtrijk krachtvoer + mengvoer) in de vrijlooptal tijdens de balansperiode

3.3.4 NPK_{drijfmest}

Een overzicht van de gemeten drijfmesthoogtes en berekende drijfmestvolumes in de kelder is gegeven in Tabel 5. Een overzicht van de drijfmestsamenstelling is gegeven in Tabel 6.

Tabel 5

Ontwikkeling van de drijfmesthoogte (m) en drijfmestvoorraad (m³) in de drijfmestkelder van de vrijlooptal tijdens de balansperiode.

Datum	Drijfmesthoogte (m)	Drijfmestvoorraad (m ³)
15-11-2013	0,79	754
29-11-2013	-	-
13-12-2013	0,97	930
27-12-2013	1,08	1034
10-01-2014	1,15	1097
24-01-2014	1,33	1272
07-02-2014	1,44	1373
28-02-2014	1,54	1469
21-03-2014	0,98 ¹⁾	938
11-04-2014	0,75	719
02-05-2014	0,85	810
23-05-2014	-	-
13-06-2014	1,49	1427
08-07-2014	1,35	1287

¹⁾ afname t.o.v. vorige meting door uitrijden van drijfmest

Tabel 6

Ontwikkeling in samenstelling van drijfmest in de drijfmestkelder van de vrijloopstal tijdens de balansperiode (in g kg⁻¹ vers product; dichtheid in kg L⁻¹).

Datum	Dichtheid	DS	As	N	P	K	C
15-11-2013	1,04	90	27	4,2	0,65	5,7	35
13-12-2013	1,04	95	33	4,2	0,65	5,4	34
10-01-2014	1,04	95	35	3,9	0,66	4,6	34
07-02-2014	1,03	65	21	3,5	0,49	4,8	26
21-03-2014	1,04	122	43	4,5	0,77	5,3	45
02-05-2014	1,04	103	37	4,0	0,68	4,9	36
13-06-2014	1,05	112	31	4,9	0,78	5,2	46
08-07-2014	1,05	107	39	4,4	0,67	4,9	38
Gemiddelde	1,04	99	33	4,2	0,67	5,1	37

Lineaire regressie gaf goede relaties tussen de ontwikkeling van de hoeveelheid drijfmest en NPK in drijfmest in de kelder en de tijd, tijdens de gekozen meetperiode (Figuur 16). De relaties werden beschreven als:

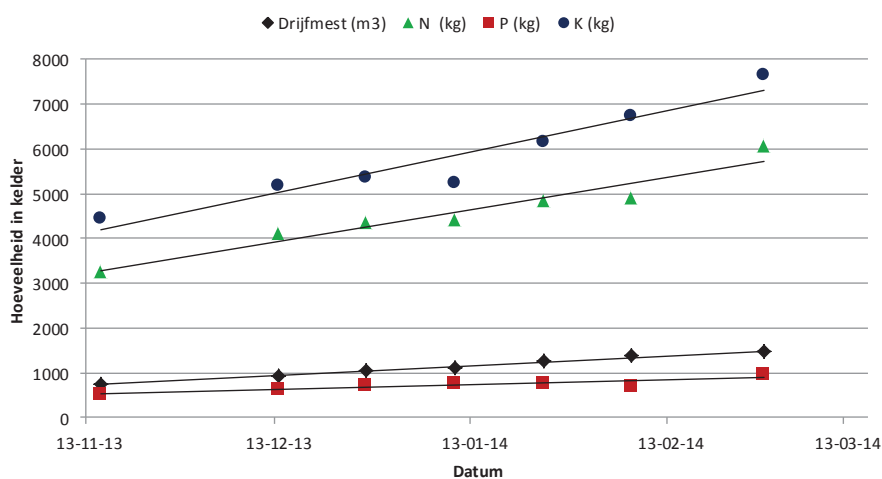
Drijfmest (m³) in kelder op bepaalde datum = $-295789 + 7,13 \cdot \text{datumwaarde}$ ($P < 0,001$; $R^2_{\text{adj.}} = 99\%$)

N (kg) in kelder op bepaalde datum = $-973175 + 23,48 \cdot \text{datumwaarde}$ ($P < 0,001$; $R^2_{\text{adj.}} = 92\%$)

P (kg) in kelder op bepaalde datum = $-142994 + 3,45 \cdot \text{datumwaarde}$ ($P = 0,007$; $R^2_{\text{adj.}} = 75\%$)

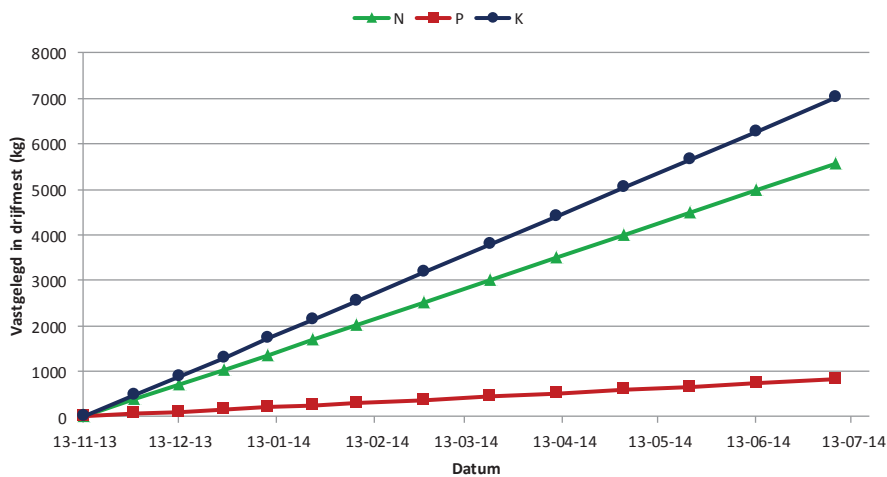
K (kg) in kelder op bepaalde datum = $-1227950 + 29,62 \cdot \text{datumwaarde}$ ($P < 0,001$; $R^2_{\text{adj.}} = 90\%$)

Toevoeging van de aantallen aanwezig dieren per diercategorie als verklarende variabelen gaf geen significante ($P < 0,05$) verbetering van deze relaties.



Figuur 16 Ontwikkeling van de hoeveelheid drijfmest en NPK in drijfmest in de drijfmestkelder van de vrijloopstal tijdens de meetperiode

Met behulp van de afgeleide relaties werd de totale drijfmestproductie over de balansperiode berekend op 1690 m³ en de totale vastlegging van NPK in geproduceerde drijfmest op 5565 kg N, 818 kg P en 7020 kg K (Figuur 17).



Figuur 17 Cumulatieve vastlegging van NPK in geproduceerde drijfmest in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

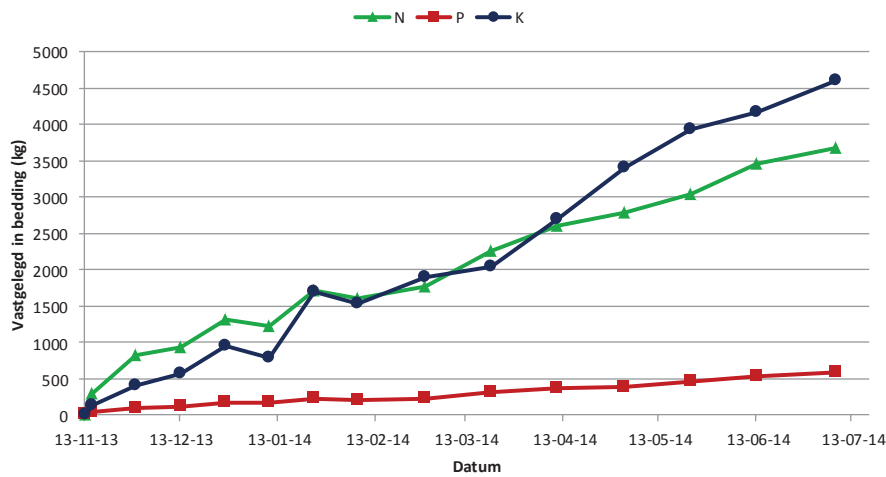
3.3.5 NPK_{bedding}

De NPK-gehalten in de bedding namen aanzienlijk toe tijdens de balansperiode als gevolg van de toevoeging van NPK met mest en het concentrerende effect van de afbraak van organische stof (Tabel 7). Er werd tijdens de balansperiode geen bedding uit de stal gehaald. De totale vastlegging van NPK in de bedding van de vrijloopstal tijdens de balansperiode werd berekend op 3685 kg N, 581 kg P en 4603 kg K (Figuur 18).

Tabel 7

Ontwikkeling van de samenstelling van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode (in g kg⁻¹ product, behalve pH en berekende C/N-verhouding).

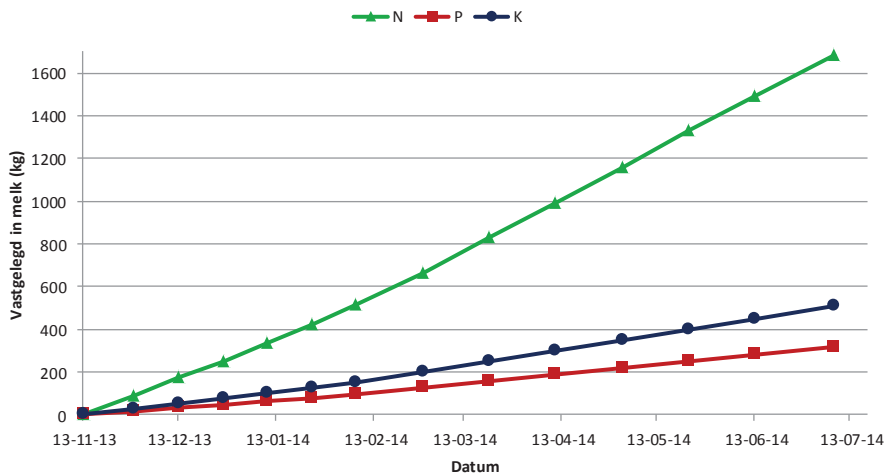
Datum	DS	As	N	P	K	C	NH ₄ -N	NO ₃ -N	pH	C/N
15-11-2013	489	16	3,29	0,39	1,55	252	0,05	<0,010	5,5	77
29-11-2013	501	20	4,32	0,51	2,12	261	0,02	<0,010	6,6	60
13-12-2013	513	21	4,38	0,52	2,65	274	0,10	<0,010	6,8	62
27-12-2013	520	22	5,20	0,66	3,78	267	0,12	<0,010	7,4	51
10-01-2014	578	24	5,94	0,78	3,82	285	0,21	<0,010	7,9	48
24-01-2014	443	31	6,82	0,90	6,70	229	0,29	<0,010	8,5	34
07-02-2014	481	33	7,18	0,89	6,85	235	0,31	<0,010	8,2	33
28-02-2014	463	35	7,48	0,98	8,03	230	0,33	<0,010	8,6	31
21-03-2014	443	33	6,95	0,98	6,29	244	0,13	<0,010	7,7	35
11-04-2014	494	44	9,26	1,29	9,58	226	0,29	<0,010	8,6	24
02-05-2014	447	47	9,39	1,29	11,46	208	0,36	<0,010	8,6	22
23-05-2014	464	58	10,0	1,50	12,96	244	0,34	<0,010	8,6	24
13-06-2014	472	71	12,9	1,97	15,47	228	0,39	<0,010	8,8	18
08-07-2014	469	76	12,5	1,97	15,62	220	0,42	<0,010	9,0	18



Figuur 18 Cumulatieve vastlegging van NPK in de bedding van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.3.6 NPK_{melk}

De gemiddelde melkproductie (incl. droogstand) van de melkkoeien tijdens de balansperiode werd berekend op 20,0 kg per koe per dag en 7295 kg per koe per jaar. De totale melkproductie over de balansperiode was 318007 kg, het gemiddelde eiwitgehalte 3,37%, het gemiddelde vetgehalte 4,02% en het gemiddelde ureumgetal 24. De totale vastlegging van NPK in geproduceerde melk in de vrijloopstal over de balansperiode werd berekend op 1682 kg N, 318 kg P en 509 kg K (Figuur 19).



Figuur 19 Cumulatieve vastlegging van NPK in melk in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

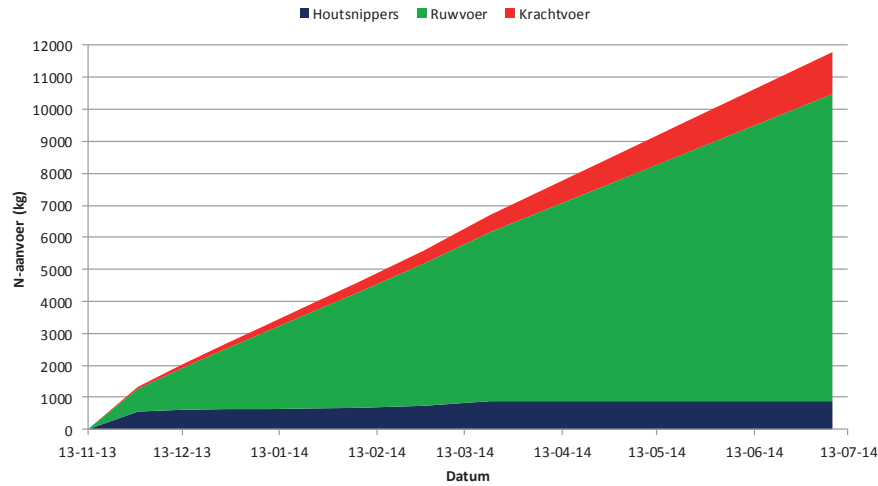
3.3.7 NPK_{dieren}

De vastlegging van NPK in dieren was op nul gesteld (paragraaf 2.5.7).

3.4 NPK balans

3.4.1 N-aanvoer

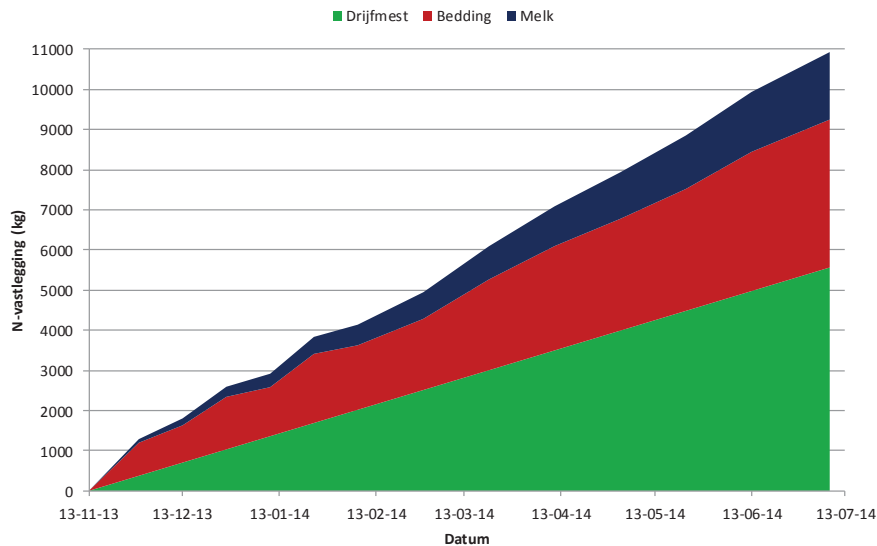
De cumulatieve N-aanvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode was 11788 kg (Figuur 20) (Tabel 10). Hiervan werd 81% aangevoerd met ruwvoer, 11% met krachtvoer en 8% met houtsnippers.



Figuur 20 Cumulatieve totale N-aanvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, opgesplitst in aanvoer met houtsnippers, ruwvoer en krachtvoer

3.4.2 N-vastlegging

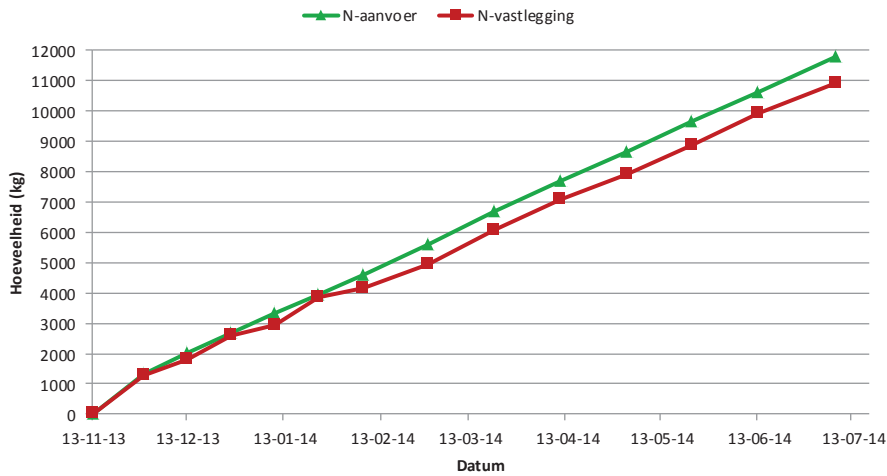
De cumulatieve N-vastlegging in de vrijloopstal tijdens de balansperiode was 10932 kg (Figuur 21) (Tabel 10). Hiervan werd 51% vastgelegd in drijfmest, 34% in de bedding en 15% in melk.



Figuur 21 Cumulatieve totale N-vastlegging in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, opgesplitst in vastlegging in drijfmest, bedding en melk

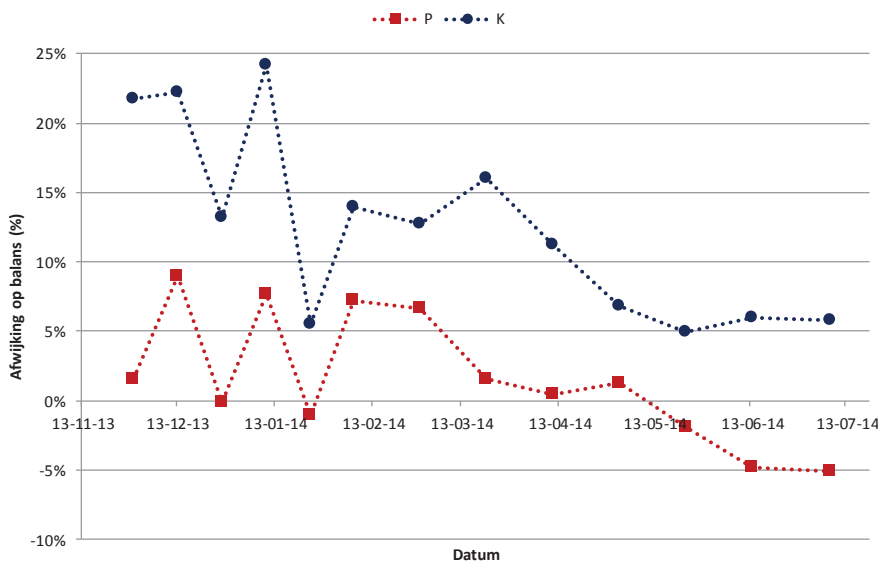
3.4.3 NPK-balans

De cumulatieve (ongecorrigeerde) NPK-balansen zijn per meetmoment gegeven in Tabel 10, Tabel 11 en Tabel 12 (Bijlage 1). De ontwikkeling van de cumulatieve N-balans over de tijd is ook gegeven in Figuur 22.



Figuur 22 Ongecorrigeerde cumulatieve N-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

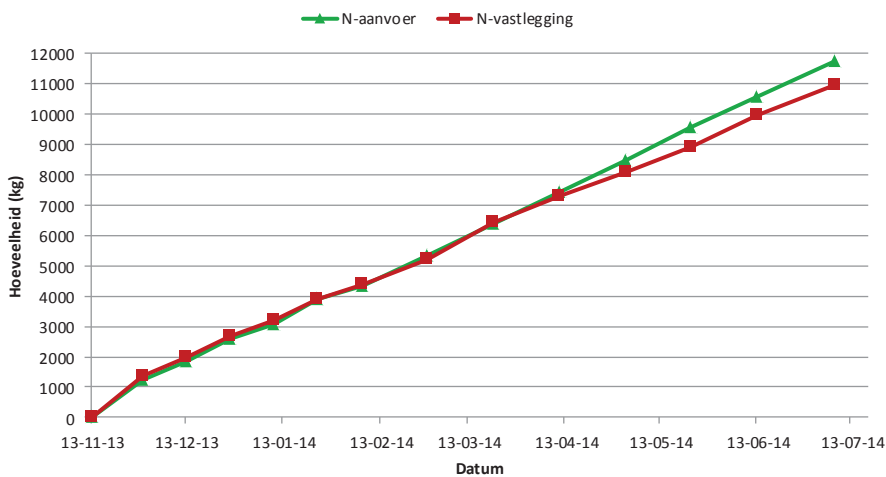
Het verschil tussen aanvoer en vastlegging op de P-balans varieerde tussen de -5 en +9% (Figuur 23, Tabel 11). Het verschil tussen aanvoer en vastlegging op de K-balans varieerde tussen +5% en +24% (Figuur 23, Tabel 12).



Figuur 23 Afwijkingen op de cumulatieve PK-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

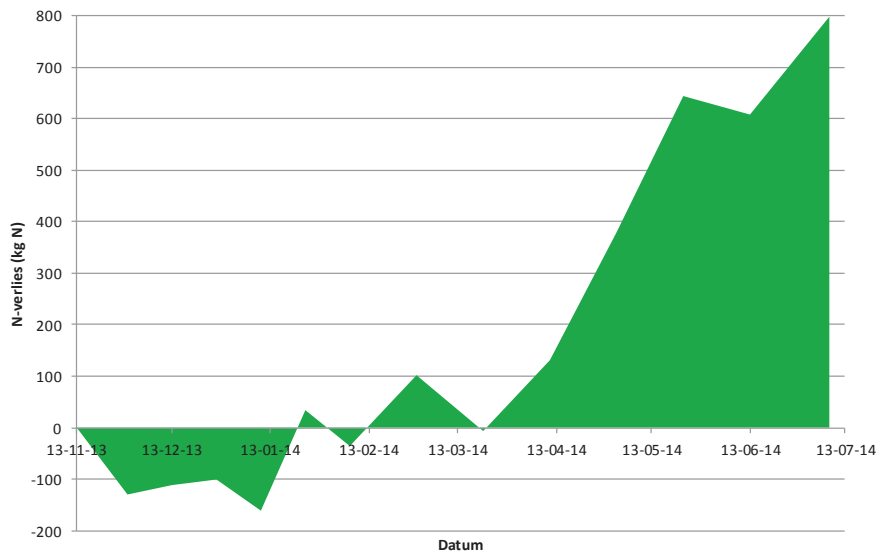
3.4.4 Gecorrigeerde N-balans en N-verlies

De gecorrigeerde cumulatieve NPK-balansen zijn per meetpunt weergegeven in Tabel 13, Tabel 14 en Tabel 15 (Bijlage 1). De ontwikkeling van de gecorrigeerde cumulatieve N-balans over de balansperiode is ook gegeven in Figuur 24. Het cumulatieve N-verlies nam toe van -130 kg N op meetpunt 29 november tot 799 kg N aan het einde van de balansperiode (Figuur 25).



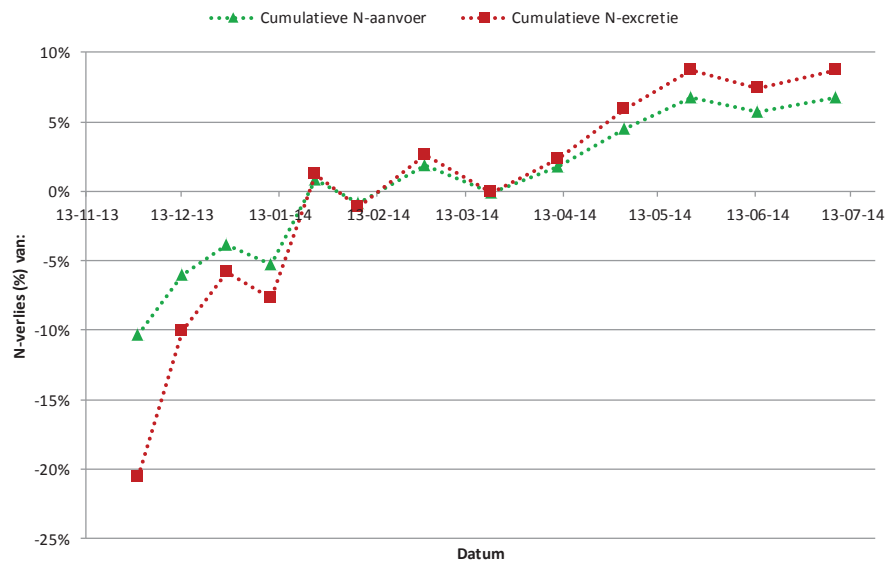
Figuur 24 Cumulatieve gecorrigeerde N-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

Het negatieve N-verlies bleef tenminste in stand tot het meetmoment op 10 januari (Figuur 25). Tussen het meetmoment op 21 maart en 8 juli nam het verlies fors toe, van -7 tot 799 kg.



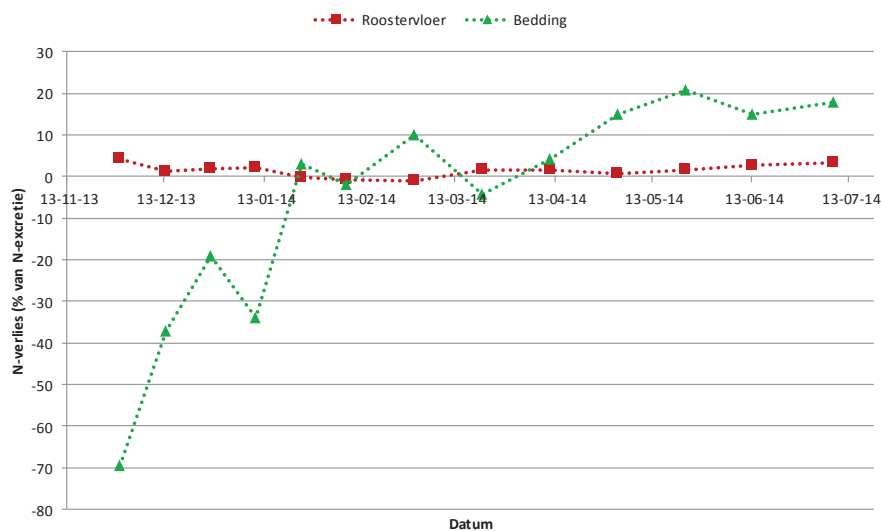
Figuur 25 Cumulatief gecorrigeerd N-verlies uit de vrijloopstal tijdens de balansperiode

Het N-verlies uitgedrukt als percentage van de cumulatieve totaal aangevoerde N nam toe van -10% op het eerste meetmoment tot 7% over de hele balansperiode (Figuur 26). Het N-verlies uitgedrukt als percentage van de cumulatieve N-excretie nam toe van -21% op het eerste meetmoment tot 9% over de hele balansperiode (Figuur 26). Uitgedrukt als percentage van de netto N-aanvoer op de stalvloer (met strooisel en excretie) was het N-verlies over de hele balansperiode 8%. Per kg geproduceerde melk was het N-verlies over de hele balansperiode 2,5 g N.



Figuur 26 Cumulatief N-verlies uit de vrijloopstal tijdens de balansperiode, als percentage van de cumulatieve N-aanvoer en cumulatieve N-excretie in de stal

Met de gecorrigeerde PK-balans (Tabel 14, Tabel 15) werd berekend dat 37% van zowel de P- als de K-excretie op de bedding kwam. Met behulp van de verdeling van de NPK-excretie over urine en feces van Gustafson (2000) (Tabel 1) werd indicatief berekend dat over de hele balansperiode 37% van de feces en 38% van de urine op de bedding werd uitgescheiden. Daarmee kwam indicatief 37% van de totale N-excretie op de bedding en de overige 63% op de roostervloer. Uit de splitsing van het N-verlies over bedding en roostervloer bleek dat het indicatieve N-verlies van de bedding aan het begin van de balansperiode sterk negatief was en in de loop van de balansperiode toenam tot boven het niveau van de roostervloer, met een uiteindelijk indicatief verlies van 18% van de N-excretie (Figuur 27). Het indicatieve N-verlies van de roostervloer was laag, met 3% van de N-excretie over de balansperiode.



Figuur 27 Indicatieve verdeling van het cumulatieve N-verlies van de vrijloopstal over bedding en roostervloer

Het N-verlies uit de stal en vanaf het land was voor vrijloopstal Wiersma over de hele balansperiode 14% van de N-excretie in de stal (Tabel 8). Dit was lager dan het N-verlies van 19% voor de

referentie ligboxenstal. Het indicatieve N-verlies uit de stal en vanaf het land was voor de bedding (18%) hoger dan voor de roostervloer (12%).

Tabel 8

N-verlies uit de vrijloopstal en na uitrijden van mest op grasland (indicatief), gesplitst voor de bedding en de roostervloer.

Parameter	Bedding	Roostervloer	Totaal
N-excretie in stal (kg)	3430	5769	9199
N-verlies uit stal (kg)	613	186	799
N-vastlegging in stal (kg)	3698	5583	9281
N-verlies op land (kg)	0	534	534
Totaal N-verlies stal + land (kg)	613	720	1333
Totaal N-verlies stal + land (% van N-excretie)	17,9	12,0	14,5

4 Discussie

4.1 Effect afwijkingen P- en K-balans op N-verlies

De afwijkingen op de P- en K-balans en de daaruit voortkomende correcties hadden een relatief groot effect op het berekende N-verlies. Het is daarom van belang deze afwijkingen en de gevolgen voor het verlies wat nader te beoordelen. De afwijkingen op zowel de P- als K-balans waren relatief groot aan het begin van de balansperiode en namen af naar het einde (Figuur 23). Deze afname is logisch; als er langer gemeten wordt en de berekeningen op meer gegevens gebaseerd zijn, kunnen absolute afwijkingen relatief kleiner worden en ook gaan uitmiddelen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de aanvoer van NPK met graskuil; als er meer van een graskuil wordt gevoerd zal de gebruikte kuilanalyse representatiever zijn en de afwijking kleiner worden. Een gemeten afwijking van 5 tot 6% over de hele balansperiode is erg beperkt (Figuur 23). Gemiddeld genomen was de afwijking op de PK-balans over de hele balansperiode vrijwel verdwenen en werd de N-balans over de hele balansperiode daardoor nauwelijks gecorrigeerd. Het beeld is dat er bij de eerste meetpunten meer ruis om het berekende N-verlies kon zitten, maar dat dit over het totaal van de balansperiode beperkt was.

4.2 Alternatieve berekening vastlegging NPK in drijfmest

De vastlegging van NPK in drijfmest tijdens de balansperiode werd berekend op basis van de gemeten vastlegging in de periode van 15 november tot 28 februari (paragraaf 2.5.4.). Hierdoor kon er geen rekening gehouden worden met veranderingen in dieraantallen na deze meetperiode. Uit het verloop van samenstelling van de veestapel bleek dat het aantal (vrijwel) volwassen dieren (vaarzen, melkgevende koeien, droogstaande koeien) na de meetperiode wat afnam. Volwassen dieren hadden verreweg de grootste bijdrage aan de drijfmestproductie. Om rekening te houden met een mogelijk effect van deze afname op de NPK-vastlegging in drijfmest werden twee alternatieve berekeningen uitgevoerd. Bij de eerste berekening werd de gemiddelde NPK-vastlegging per volwassen dier per dag berekend voor de meetperiode en vervolgens vermenigvuldigd met het gemiddelde aantal volwassen dieren tijdens de balansperiode en de duur van de balansperiode. Deze alternatieve berekening had geen gevolgen van betekenis voor de resultaten over de hele balansperiode; het berekende N-verlies was 8,6 i.p.v. 8,7% van de N-excretie. De tweede alternatieve berekening werd uitgevoerd als de eerste, maar alleen voor het aantal melkgevende koeien. Ook bij deze berekening waren er geen gevolgen van betekenis voor de resultaten over de hele balansperiode; het berekende N-verlies was 8,8% i.p.v. 8,7% van de N-excretie. Gezien deze resultaten is de oorspronkelijke berekening gehandhaafd.

4.3 Niveau N-verlies vrijloopstal Wiersma

Het N-verlies uit vrijloopstal Wiersma tijdens de balansperiode 2013/2014 is het laagste N-verlies dat tot nu toe werd gemeten aan een vrijloopstal (Tabel 9). Het N-verlies was duidelijk lager dan van de vorige balans van vrijloopstal Wiersma (stal nr. 1, Tabel 9). Hierbij past wel de kanttekening dat de vorige balans werd berekend op basis van minder informatie; gegevens over de drijfmestproductie ontbraken en werden daarom afgeleid.

Het N-verlies uit vrijloopstal Wiersma over de balansperiode 2013/2014 was lager dan het berekende verlies uit de referentie ligboxenstal. Dit werd veroorzaakt door een laag indicatief N-verlies van de roostervloer (Figuur 27). Over de hele balansperiode was het indicatieve N-verlies van de bedding aanzienlijk hoger dan van de roostervloer. Tijdens de eerste twee maanden van de balansperiode lag het N-verlies van de bedding echter ver onder het niveau van de roostervloer en na vijf maanden was het cumulatieve N-verlies van de bedding niet hoger dan dat van de roostervloer.

Tabel 9

N-verlies uit vrijloopstallen, afgeleid van de N-balans en op verschillende manieren uitgedrukt.

N-verlies uitgedrukt als:	Vrijloopstal ¹⁾						
	Wiersma 2013/2014	Nr. 1	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 8	Nr. 9
% van N-aanvoer op stalvloer	7,9	17,1	21,0	22,9	35,3	33,6	21,6
% van N-excretie in stal	8,7	19,0	34,9	39,9	39,6	43,9	63,0
g per kg geproduceerde melk	2,5	3,1	5,0	5,8	8,1	13,5	7,9

¹⁾ gegevens van gecodeerde vrijloopstallen nr. 1 t/m 9 afkomstig uit De Boer (2015)

Het lage indicatieve niveau van N-verlies van de roostervloer werd mogelijk deels verklaard door het voermanagement, dat gericht was op maximale benutting van ruwvoer en een laag gebruik van krachtvoer. Omdat het NH₄-N-gehalte in de drijfmest niet geanalyseerd was, kon niet beoordeeld worden of de lage emissie deels veroorzaakt werd door een laag NH₄-N-gehalte. De lage emissie kon niet verklaard worden door specifieke emissiebeperkende eigenschappen van de roostervloer; het betrof een standaard betonnen roostervloer.

Benadrukt moet worden dat de berekende verliespercentages voor bedding en roostervloer indicatief van aard zijn, omdat de werkelijke verdeling van de NK-excretie² over urine en feces in de vrijloopstal van Wiersma afwijkend geweest kan zijn vergeleken met Gustafson (2000). Een afwijkende verdeling heeft gevolgen voor de berekende N-excretie op bedding en roostervloer en de berekende gesplitste N-verliespercentages. De berekende percentages zijn vooral bruikbaar om duidelijke verschillen in niveau zichtbaar te maken.

4.4 Relatie N-verlies met C/N-verhouding bedding

Het hoofddoel van compostering van de bedding in een vrijloopstal is vochtverdamping. Een ander doel is om de met mest uitgescheiden N in bacteriële biomassa vast te leggen en daardoor N-vervluchtiging te verminderen. Het hierbij veronderstelde mechanisme is dat de bacteriën (en andere microflora) de houtsnippers afbreken, groeien op de energie die vrijkomt tijdens de afbraak en de voor groei benodigde N uit de omgeving opnemen. Zolang er in verhouding tot opneembare N een overmaat aan beschikbare energie met houtsnippers wordt aangevoerd, zal de hoeveelheid beschikbare N in de bedding beperkend zijn voor bacteriegroei. Daardoor is deze N niet of nauwelijks beschikbaar voor verlies door vervluchtiging. De C/N-verhouding van de bedding is een grove maat voor de verhouding tussen beschikbare energie uit C en beschikbare N.

Tijdens de eerste maanden van de balansperiode was N beperkt beschikbaar. Met de aanvoer van een grote hoeveelheid verse houtsnippers aan het begin van de balansperiode werd een grote voorraad beschikbare energie aangevoerd. Tegelijk was er weinig N in de bedding aanwezig. Het N-gehalte van de houtsnippers zelf was laag (Tabel 3) en er werd in verhouding tot de beschikbare energie uit houtsnippers ook weinig N met mest aangevoerd. Door deze beperkte N-beschikbaarheid was er waarschijnlijk nauwelijks N beschikbaar voor directe vervluchtiging in de vorm van NH₃. Hierdoor was er waarschijnlijk ook nauwelijks sprake van nitrificatie van NH₄, gevolgd door denitrificatie van NO₃, en daarbij optredende emissie van N₂O en N₂. Een indicatie voor lage emissies van N₂O en N₂ was het lage N-NH₄-gehalte en de afwezigheid van N-NO₃ in de bedding in deze periode (Tabel 7). Het berekende negatieve N-verlies geeft aan dat er in de eerste maanden van de balansperiode in plaats van netto N-vervluchtiging er blijkbaar netto N uit de omgevingslucht werd opgenomen en vastgelegd (Figuur 26). Dit verschijnsel is relatief onbekend. Daarom is het belangrijk om na te gaan of dit niet veroorzaakt werd door het optreden van meetfouten. Hoewel dit niet met absolute zekerheid kan worden uitgesloten is er ook geen aanleiding dit te veronderstellen. Weliswaar was er de eerste maanden sprake van grotere afwijkingen op de PK-balans dan later tijdens de balansperiode (Figuur 23), maar deze afwijkingen waren niet ongewoon groot en daarnaast is het berekende N-verlies hiervoor gecorrigeerd. Overigens, als meetfouten als mogelijke verklaring worden verondersteld, dan

² Van de P-excretie wordt 100% uitgescheiden met de feces en 0% met de urine, dit is een vaste fysiologische verhouding

moet er objectief gezien ook rekening mee gehouden worden dat meetfouten geen bias hebben en daardoor ook hadden kunnen leiden tot een onderschatting van het waargenomen negatieve N-verlies.

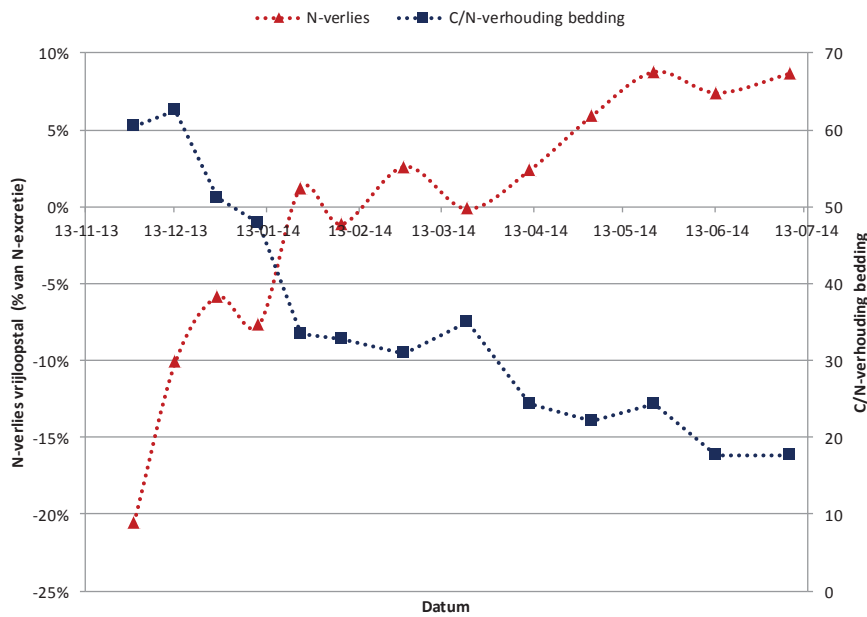
Negatieve N-verliezen tijdens compostering zijn daarnaast eerder waargenomen, o.a. door Beck et al. (1997) en Csehi (1997). Beck et al. (1997) rapporteerden dat bij tunnelcompostering van organisch materiaal met een C/N-verhouding van 55 het NH₃-gehalte in de uitgeblazen lucht duidelijk lager was dan in de aangezogen omgevingslucht. Tegelijk nam tijdens de compostering de hoeveelheid N in de compost toe met 25%. Bij compostering van mest, met een aanzienlijk lagere C/N-verhouding van respectievelijk 18 en 20, was het NH₃-gehalte in de uitgeblazen lucht niet lager maar hoger dan in de aangezogen omgevingslucht. Tegelijk nam tijdens compostering de hoeveelheid N in de compost niet toe, maar af, met respectievelijk 39 en 30%. Vergelijkbare resultaten werden gemeten door Csehi (1997). Csehi (1997) vond bij compostering van materiaal met een C/N-verhouding van 55 een toename van de hoeveelheid N in compost met 32%. Schuchardt (1990, referentie in Beck et al. (1997)) rapporteerde dat bij compostering van materiaal met een C/N-verhouding van 41 de hoeveelheid N met 15% toenam. Bij compostering van materiaal met een lagere C/N-verhouding nam het N-verlies toe naarmate de C/N-verhouding lager was. In het onderzoek van Beck et al. (1997) en Csehi (1997) werd tijdens compostering van materiaal met een hoge C/N-verhouding blijkbaar NH₃ uit de omgevingslucht in de compost vastgelegd. De resultaten bij vrijloopstal Wiersma suggereren dat er op het niveau van de hele stal netto N werd opgenomen uit de omgeving. Daardoor kan er geen sprake geweest zijn van opname van NH₃ uit de stallucht, maar mogelijk wel uit de wijdere omgeving. Een andere mogelijkheid is dat er geen NH₃ maar N₂ uit de lucht werd opgenomen en vastgelegd door vrijlevende N₂-fixerende bacteriën. Vrijlevende N₂-fixerende bacteriën komen zowel voor in de bodem als in compost en er is regelmatig onderzocht of toevoeging van deze bacteriën aan compost het N-gehalte kan verhogen (o.a. Keeling & Cook, 1998; Pepe et al., 2013). In onderzoek van Pepe et al. (2013) gaf inoculatie van 1,8 kg rijpe compost met vrijlevende N₂-fixerende bacteriën een toename van het totale N-gehalte van 16 tot 27%, tijdens een incubatieperiode van 10 dagen en bij een N-startgehalte van 1,85%. De niet-geïnoculeerde compost liet overigens ook een toename van het N-gehalte zien van ongeveer 10%, vanwege het natuurlijk voorkomen van N₂-fixerende bacteriën in de compost. Deze resultaten laten zien dat het mogelijk is dat vrijlevende N₂-fixerende bacteriën in compost aanzienlijke hoeveelheden N₂ uit de lucht kunnen vastleggen. Of dit mechanisme ook bij vrijloopstal Wiersma verantwoordelijk was voor N-vastlegging, en in welke mate, kon binnen de randvoorwaarden van dit project niet verder onderzocht worden.

Een inverse relatie tussen N-verlies en C/N-verhouding van de bedding, zoals o.a. vastgesteld door Schuchardt (1990), werd ook gevonden bij compostering van de bedding in vrijloopstal Wiersma (Figuur 28). Lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) liet een sterke relatie zien:

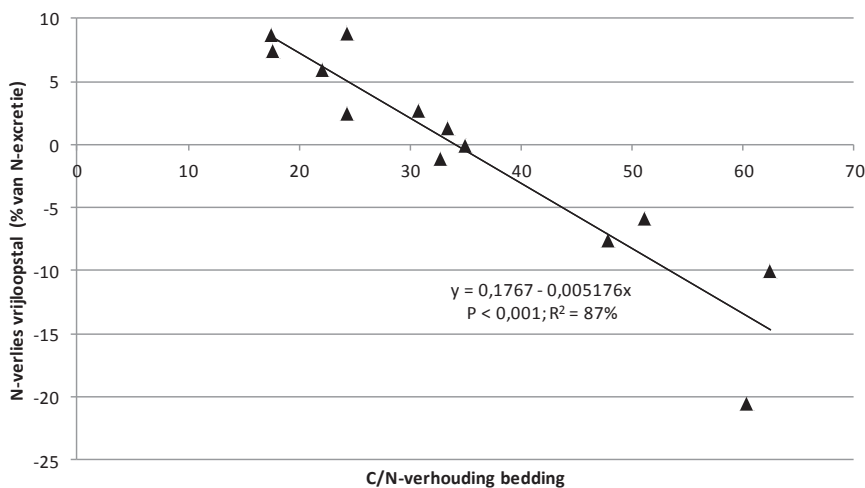
$$\text{N-verlies vrijloopstal (\% van N-excretie)} = 0,1767 - 0,005176 * \text{C/N-verhouding} \quad (P < 0,001; R^2 = 87\%) \quad (\text{Figuur 29})$$

Uit deze relatie kan afgeleid worden dat bij een C/N-verhouding hoger dan 34 er netto N in de stal werd vastgelegd en dat er bij een lagere C/N-verhouding N-verlies ontstond, dat toenam naarmate de C/N-verhouding verder daalde. Bij een C/N-verhouding van 28 was het N-verlies uit de stal gelijk aan het N-verlies van de roostervloer (3,2%), ofwel het N-verlies van de bedding was ongeveer gelijk aan het N-verlies van de roostervloer. Bij een lagere C/N-verhouding was het N-verlies van de bedding hoger dan van de roostervloer.

De sterke relatie tussen N-verlies en C/N-verhouding over de hele balansperiode is een verdere onderbouwing van de conclusie dat er daadwerkelijk netto N uit de omgevingslucht in de bedding werd vastgelegd tijdens de eerste maanden van de balansperiode en dat dit verschijnsel niet werd veroorzaakt door meetfouten.



Figuur 28 Verloop van het cumulatieve N-verlies uit de vrijloopstal en de C/N-verhouding van de bedding tijdens de balansperiode



Figuur 29 Relatie tussen N-verlies uit de vrijloopstal en de C/N-verhouding van de bedding

Uit het verloop in samenstelling van de bedding blijkt duidelijk dat de N in de bedding inderdaad werd vastgelegd in organische vorm en niet ophoopte in minerale vorm; het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte in de bedding was tijdens de balansperiode erg laag en bedroeg niet meer dan enkele procenten van de totaal aanwezige hoeveelheid N (Tabel 7). $\text{NO}_3\text{-N}$ was bij alle bemonsteringen afwezig.

De resultaten van vrijloopstal Wiersma in 2013/2014 laten zien dat het mogelijk is om met een vrijloopstal met een organische, intensief composterende bedding een laag N-verlies te realiseren en daarmee goede milieuprestaties neer te zetten. Het N-verlies van vrijloopstal Wiersma had verder verlaagd kunnen worden door het beddingmanagement te optimaliseren. Een eenvoudige maatregel was geweest om de bedding eerder te vervangen. Bij vervanging na vijf maanden was het N-verlies van de bedding vergelijkbaar geweest met dat van de roostervloer (Figuur 27). In plaats van de bedding eerder te vervangen had hetzelfde effect waarschijnlijk bereikt kunnen worden door half maart niet te stoppen maar door te gaan met de aanvoer van houtsnippers (Figuur 10). Door regelmatige aanvoer van verse houtsnippers blijft de C/N-verhouding op een voldoende hoog niveau om voldoende N te binden en het N-verlies laag te houden. Met een regelmatige aanvoer van verse

houtsnippers, waarbij de C/N-verhouding boven een waarde van 34 wordt gehouden, zou het zelfs mogelijk moeten zijn om N-verlies uit de stal geheel te voorkomen. Dit leidt wel tot een aanzienlijke stijging in het gebruik van houtsnippers en tot de vraag of compost met een hoge C/N-verhouding voldoende bruikbaar is op het melkveebedrijf. Het management van de houtsnipperbedding in vrijloopstal Wiersma had verder geoptimaliseerd kunnen worden door de houtsnippers niet onregelmatig in grote partijen, maar regelmatig (b.v. iedere week) in kleine hoeveelheden uit een opgeslagen voorraad bij te strooien. Daardoor wordt voorkomen dat de C/N-verhouding tijdelijk teveel terugvalt, waardoor het N-verlies kan toenemen. Optimalisatie van het management kan leiden tot een verdere verlaging van het N-verlies uit de vrijloopstal, waardoor de omgeving nog minder wordt belast en de melkveehouder nog meer N in zijn bedrijfskringloop houdt.

Conclusies

- Vrijloopstal Wiersma had tijdens een balansperiode van acht maanden (inclusief winterperiode) een N-verlies door vervluchtiging uit de stal van 9% van de N-excretie in de stal. Dit verlies was lager dan het verlies van een eerder berekende balans (19%), lager dan het verlies uit een referentie ligboxenstal (11%) en het laagste N-verlies tot nu toe gemeten aan een vrijloopstal
- Inclusief de indicatieve N-vervluchtiging tijdens en na toediening van drijfmest en compost op het land was het N-verlies door vervluchtiging uit vrijloopstal Wiersma 14% van de N-excretie in de stal, vergeleken met 19% uit de referentie ligboxenstal
- Een indicatieve opsplitsing van het cumulatieve N-verlies over de balansperiode tussen bedding en roostervloer gaf een N-verlies van 18% van de N-excretie op de bedding en van 3% op de roostervloer. Daarmee werd over de hele balansperiode het laagste N-verlies op de roostervloer gerealiseerd. De eerste twee maanden van de balansperiode was het N-verlies van de bedding echter negatief en lager dan het N-verlies van de roostervloer; na vijf maanden was het N-verlies van de bedding toegenomen tot hetzelfde niveau als dat van de roostervloer
- Er was een sterke ($P < 0,001$) inverse lineaire relatie tussen het cumulatieve N-verlies uit de stal en de C/N-verhouding van de bedding. Bij een C/N-verhouding hoger dan 34 was het N-verlies negatief en werd er blijkbaar N uit de omgevingslucht in de bedding vastgelegd. Dit werd mogelijk veroorzaakt door vrijlevende N_2 -fixerende bacteriën. Bij een C/N-verhouding lager dan 34 ontstond N-verlies, dat toenam bij een verder dalende C/N-verhouding
- Door de C/N-verhouding van de bedding op een voldoende hoog niveau te houden kon het N-verlies van de bedding en uit de stal laag gehouden worden. Bij een voldoende hoge C/N-verhouding werd er voldoende N uit de op de bedding uitgescheiden mest gebonden in bacteriële biomassa en was daardoor niet langer beschikbaar voor vervluchtiging. Een voldoende hoge C/N-verhouding was te realiseren door regelmatig verse houtsnippers aan te voeren. Een meer regelmatig aanvoer van houtsnippers en het langer doorgaan met deze aanvoer had het N-verlies van vrijloopstal Wiersma waarschijnlijk verder kunnen verlagen
- Intensief composteren, een combinatie van composteren bij relatief hoge temperatuur, een regelmatige aanvoer van verse houtsnippers, dagelijkse frezen van de bedding, en regelmatig kort beluchten door middel van blazen, was een geschikte methode om het N-verlies van deze vrijloopstal met composterende bedding op een laag niveau te houden.

Referenties

- Beck, J., Käck, M., Hentschel, A., Csehi, K., Jungbluth, T. 1997. Ammonia emissions from composting animal wastes in reactors and windrows. Proceedings of the symposium on ammonia and odour emissions from animal production facilities, volumes 1 & 2, p. 381-388, Vinkeloord, Nederland.
- CBS, 2011. Dierlijke mest en mineralen 2009. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, Nederland.
- Csehi, K. 1997. Ammoniakemission bei der Kompostierung tierischer Exkremete in Mieten und Kompostqualität. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG), 311, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland.
- CVB, 2011. CVB Veevoedertabel 2011 - Chemische samenstellingen en nutritionele waarden van voedermiddelen. Productschap Diervoeder, Den Haag, Nederland.
- De Boer, H.C. 2013. On farm development of bedded pack barns in the Netherlands - Nutrient balances and manure quality of bedding material. Report 709, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, Nederland.
- De Boer, H.C. 2015. NPK balances, gaseous N loss and some manure quality characteristics of six different bedded pack barns in the Netherlands. Rapport Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, Nederland (in voorbereiding).
- Gustafson, 2000. Partitioning of nutrients and trace elements in feed among milk, faeces and urine by lactating dairy cows. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science 50: 111-120.
- Keeling, A.A., Cook, J.A. 1998. Estimate of N₂-fixation in waste-derived compost after treatment with glucose. European Journal of Soil Biology 34:151-155.
- Ogink, N. 2012. Ammoniakemissie van melkvee in ligboxenstallen met roostervloeren: resultaten van metingen op praktijkbedrijven. Infoblad Nr. 45, Beleidsondersteunend Onderzoek (BO-12.12), thema Mest, Milieu en Klimaat. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, Nederland.
- Pepe, O., Venterino, V., Blaiotta, G. 2013. Dynamic of functional microbial groups during mesophilic composting of agro-industrial wastes and free-living (N₂)-fixing bacteria application. Waste Management 33:1616-1625.
- Velthof G.L., van Bruggen, C., Groenestein, C.M., de Haan, B.J., Hoogeveen, M.W., Huijsmans, J.F.M. 2009. Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland. Rapport 70, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen, Nederland.

Bijlagen

Bijlage 1. NPK-balansen per meetmoment

Tabel 10 Ongecorrigeerde N-balans van de vrijloopstal, weergegeven voor ieder meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg N

Balanspost	2013		2014													
	13-11	29-11	13-12	13-12	27-12	10-01	24-01	7-02-	28-02	21-03	11-04	2-05	23-05	13-06	8-07	
Aanvoer met houtsnippers	0	558	614	635	635	656	674	738	882	882	882	882	882	882	882	882
Aanvoer met ruwvoer	0	711	1296	1882	2467	3036	3598	4442	5277	6109	6940	7771	8603	9593	9593	9593
Aanvoer met vochtrijk krachtvoer	0	0	0	0	0	6	13	25	76	145	215	285	355	439	439	439
Aanvoer met mengvoer	0	63	115	163	213	260	308	383	461	539	619	705	782	875	875	875
Vastgelegd in melk	0	90	173	252	334	423	514	663	828	991	1159	1332	1492	1682	1682	1682
Vastgelegd in compost	0	823	928	1309	1222	1722	1607	1773	2262	2600	2785	3037	3468	3685	3685	3685
Vastgelegd in drijfmest	0	376	704	1033	1362	1691	2019	2512	3005	3499	3992	4485	4978	5565	5565	5565
Totaal aangevoerd	0	1331	2025	2680	3315	3958	4594	5588	6697	7676	8657	9644	10622	11788	11788	11788
Totaal vastgelegd	0	1289	1806	2594	2918	3836	4140	4948	6095	7089	7935	8854	9938	10932	10932	10932
Verlies	0	42	219	86	397	123	454	640	602	587	722	790	684	857	857	857

Tabel 11 Ongecorrigeerde P-balans van de vrijloopstal, weergegeven voor ieder meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg P

Balanspost	Datum															
	2013								2014							
	13-11	29-11	13-12	27-12	10-01	24-01	7-02-	28-02	21-03	11-04	2-05	23-05	13-06	8-07		
Aanvoer met houtsnippers	0	59	65	67	67	70	72	79	101	101	101	101	101	101		
Aanvoer met ruwvoer	0	103	188	272	357	437	516	633	748	862	976	1090	1203	1339		
Aanvoer met vochtrijk krachtvoer	0	0	0	0	0	1	2	3	9	18	27	36	44	55		
Aanvoer met mengvoer	0	10	18	26	34	41	49	61	73	86	99	112	125	140		
Vastgelegd in melk	0	17	32	47	62	78	96	124	155	186	217	250	281	318		
Vastgelegd in compost	0	97	111	167	161	228	200	232	320	362	383	454	531	581		
Vastgelegd in drijfmest	0	55	104	152	200	248	297	369	442	514	587	659	732	818		
Totaal aangevoerd	0	172	271	366	458	549	638	777	932	1067	1202	1338	1473	1634		
Totaal vastgelegd	0	169	247	366	423	555	592	725	917	1062	1187	1364	1544	1717		
Verlies	0	3	24	0	35	-6	46	51	14	5	15	-25	-71	-83		

Tabel 12 Ongecorrigeerde K-balans van de vrijloopstal, weergegeven voor ieder meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg K

Balanspost	Datum															
	2013								2014							
	13-11	29-11	13-12	27-12	10-01	24-01	7-02-	28-02	21-03	11-04	2-05	23-05	13-06	8-07		
Aanvoer met houtsnippers	0	244	269	276	276	283	289	311	432	432	432	432	432	432		
Aanvoer met ruwvoer	0	881	1607	2332	3058	3765	4465	5514	6545	7566	8588	9609	10631	11846		
Aanvoer met vochtrijk krachtvoer	0	0	0	0	0	7	17	32	55	81	107	134	160	191		
Aanvoer met mengvoer	0	30	55	77	101	124	146	182	218	255	292	333	369	413		
Vastgelegd in melk	0	27	52	75	99	126	153	198	248	298	348	400	450	509		
Vastgelegd in compost	0	403	561	952	785	1692	1532	1904	2049	2690	3398	3934	4168	4603		
Vastgelegd in drijfmest	0	474	889	1303	1718	2133	2547	3169	3791	4413	5035	5657	6279	7020		
Totaal aangevoerd	0	1155	1930	2686	3435	4179	4917	6039	7250	8335	9420	10508	11591	12882		
Totaal vastgelegd	0	904	1501	2331	2603	3950	4232	5272	6089	7401	8782	9992	10898	12132		
Verlies	0	251	429	356	833	229	685	768	1161	934	638	516	694	751		

Tabel 13 Gecorrigeerde N-balans van de vrijloopstal, weergegeven voor ieder meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg N

Balanspost	Datum	2014												
		2013	13-11	29-11	13-12	27-12	10-01	24-01	7-02-	28-02	21-03	11-04	2-05	23-05
Aanvoer met houtsnippers	0	525	566	614	584	649	639	702	844	857	865	876	880	881
Aanvoer met ruwvoer	0	669	1195	1820	2270	3003	3409	4227	5045	5930	6801	7713	8577	9575
Aanvoer met vochtrijk krachtvoer	0	0	0	0	0	6	13	24	72	141	211	283	354	438
Aanvoer met mengvoer	0	59	106	158	196	258	292	365	441	524	607	699	779	873
Vastgelegd in melk	0	97	190	262	368	428	544	699	870	1023	1183	1343	1499	1687
Vastgelegd in compost	0	884	1017	1359	1345	1742	1703	1869	2378	2685	2844	3062	3484	3698
Vastgelegd in drijfmest	0	403	772	1072	1499	1710	2140	2648	3161	3613	4077	4522	5000	5583
Totaal aangevoerd	0	1254	1867	2592	3051	3915	4351	5318	6403	7452	8484	9571	10591	11767
Totaal vastgelegd	0	1384	1979	2693	3212	3881	4387	5216	6409	7321	8104	8927	9982	10968
Verlies	0	-130	-112	-101	-161	34	-36	102	-7	131	380	644	608	799

Tabel 14 Gecorrigeerde P-balans van de vrijloopstal en P-excretie, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg P

Balanspost	Datum	2014												
		2013	13-11	29-11	13-12	27-12	10-01	24-01	7-02-	28-02	21-03	11-04	2-05	23-05
Aanvoer met houtsnippers	0	59	62	68	65	70	69	77	100	101	100	102	103	103
Aanvoer met ruwvoer	0	102	179	272	343	440	497	612	743	860	970	1100	1232	1373
Aanvoer met vochtrijk krachtvoer	0	0	0	0	0	1	1	3	9	18	27	36	45	56
Aanvoer met mengvoer	0	10	17	26	32	42	47	59	73	86	98	113	128	143
Vastgelegd in melk	0	17	34	47	65	78	99	128	156	186	219	248	275	310
Vastgelegd in compost	0	98	116	167	168	227	208	240	323	363	386	450	519	567
Vastgelegd in drijfmest	0	56	109	152	209	247	308	382	445	515	590	653	715	798
Totaal aangevoerd	0	171	259	366	441	552	615	751	925	1064	1195	1351	1508	1676
Totaal vastgelegd	0	171	259	366	441	552	615	751	925	1064	1195	1351	1508	1676
Verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 15 Gecorrigeerde K-balans van de vrijloopstal en K-excretie, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg K

Balanspost	Datum		2014													
	2013	2014	13-11	29-11	13-12	27-12	10-01	24-01	7-02-	28-02	21-03	11-04	2-05	23-05	13-06	8-07
Aanvoer met houtsnippers	0	218	239	258	243	276	269	291	398	408	418	422	419	420		
Aanvoer met ruwvoer	0	785	1428	2178	2687	3662	4154	5164	6021	7143	8297	9373	10312	11501		
Aanvoer met vochtrijk krachtvoer	0	0	0	0	0	7	16	30	50	76	104	130	155	186		
Aanvoer met mengvoer	0	27	48	72	89	120	136	170	201	241	283	324	358	401		
Vastgelegd in melk	0	31	59	81	115	129	165	213	272	316	361	411	464	525		
Vastgelegd in compost	0	459	641	1025	911	1741	1656	2043	2245	2860	3522	4036	4301	4745		
Vastgelegd in drijfmest	0	540	1016	1403	1993	2194	2753	3400	4153	4692	5218	5803	6479	7237		
Totaal aangevoerd	0	1030	1716	2508	3019	4065	4575	5655	6670	7868	9101	10250	11245	12507		
Totaal vastgelegd	0	1030	1716	2508	3019	4065	4575	5655	6670	7868	9101	10250	11245	12507		
Verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 480 10 77
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 881

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

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

