



---

# Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Langenkamp-Niens in 2014/2015

Herman de Boer



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

---



---

# Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Langenkamp-Niens in 2014/2015

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, februari 2016

---

Livestock Research Rapport 936

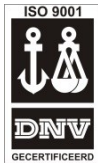
---

De Boer, Herman, 2016. *Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Langenkamp-Niens in 2014/2015*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 936.

© 2016 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 936

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
<b>2 Materiaal &amp; methoden</b>	<b>10</b>
2.1 Beschrijving stal en stalvloer	10
2.2 Beddingmanagement	11
2.3 Gegevensverzameling	11
2.4 Methodiek voor berekening NPK-balans en N-verlies	12
2.5 Metingen en berekeningen per balanspost	14
2.5.1 NPK <sub>strooisel</sub>	14
2.5.2 NPK <sub>ruwvoer</sub>	14
2.5.3 NPK <sub>krachtvoer</sub>	15
2.5.4 NPK <sub>drijfmest</sub>	15
2.5.5 NPK <sub>bedding</sub>	16
2.5.6 NPK <sub>melk</sub>	17
2.5.7 NPK <sub>dieren</sub>	17
<b>3 Resultaten</b>	<b>18</b>
3.1 Beddingeigenschappen	18
3.1.1 Beddingtemperatuur	18
3.1.2 Beddinghoogte	19
3.1.3 Dichtheid bedding	20
3.1.4 Porositeit bedding	20
3.1.5 Deeltjesgrootte bedding	21
3.2 Samenstelling veestapel	21
3.3 Resultaten per balanspost	22
3.3.1 NPK <sub>strooisel</sub>	22
3.3.2 NPK <sub>ruwvoer</sub>	22
3.3.3 NPK <sub>krachtvoer</sub>	23
3.3.4 NPK <sub>drijfmest</sub>	24
3.3.5 NPK <sub>bedding</sub>	25
3.3.6 NPK <sub>melk</sub>	26
3.3.7 NPK <sub>dieren</sub>	27
3.4 NPK balans	27
<b>4 Discussie</b>	<b>32</b>
4.1 Effect afwijkingen PK-balans op N-verlies	32
4.2 Niveau N-verlies vrijloopstal Langenkamp	32
4.3 Relatie N-verlies met C/N-verhouding bedding	33
<b>Conclusies</b>	<b>35</b>
<b>Referenties</b>	<b>37</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>39</b>
Bijlage 1. NPK-balansen per meetmoment	39

---

---

# Woord vooraf

Wij danken de familie Langenkamp-Niens voor het ter beschikking stellen van hun bedrijf, hun bedrijfsgegevens en het uitvoeren van de metingen; Henk Schilder (Livestock Research) voor het uitvoeren van de bedrijfsbezoeken; en Feijen Diervoeders en Kunstmest (Dalfsen) voor het aanleveren van voerleverantiegegevens. De gebruikte methodiek voor balansberekening in dit rapport werd eerder gereviewd door dr. André Aarnink (Livestock Research) (De Boer, 2015ab) en prof. Peter Groot Koerkamp (Livestock Research, Departement Plantenwetenschappen WU) (De Boer, 2015a). Het onderzoek in dit rapport werd gefinancierd door het programma Duurzame Zuivelketen ([www.duurzamezuivelketen.nl](http://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 familie Langenkamp-Niens in Dalfsen (Overijssel). De vloer van deze stal bestond uit een deel organische bedding met houtsnippers (liggedeelte) en een deel roostervloer (loopgedeelte). De houtsnippers werden gecomposteerd bij een doeltemperatuur van 50 tot 55°C. Tijdens de compostering werd er via de stalvloer lucht door de bedding geblazen. Het hoofdoel van de compostering was om voldoende vocht te verdampen en daarmee de bedding droog te houden. Dit is 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 gerapporteerde onderzoek had de volgende doelen: 1) vaststellen van het niveau van N-verlies uit deze stal en de ontwikkeling daarvan over de tijd; 2) vaststellen van de bijdrage van de bedding aan het verlies; 3) verklaring van de ontwikkeling van het N-verlies uit de stal op basis van veranderingen in beddingeigenschappen; 4) vaststellen van de indicatieve bijdrage van de aanwending van mest op het land aan het totale N-verlies uit deze stal; en 5) vergelijking van het totale niveau van N-verlies (stal + land) uit deze vrijloopstal met dat van een referentie ligboxenstal. Het N-verlies uit de stal werd vastgesteld door het berekenen van N, P (fosfor) en K (kalium) balansen per twee tot drie weken over een periode van ruim zes maanden, inclusief winterperiode. NPK werd in de stal aangevoerd met strooisel (houtsnippers), 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 balansperiode 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. De hoeveelheid geproduceerde melk werd overgenomen van de overzichten van de melkfabriek. Met de verzamelde gegevens werd per bezoeksdatum (= meetmoment) de cumulatieve (oplopende) NPK-balans en het cumulatieve N-verlies berekend. De resultaten laten een N-verlies over de balansperiode zien van 815 kg N, 17% van de N-excretie met mest in de stal. Dit verlies was hoger dan van een eerdere stal met hetzelfde composteringprincipe (9%), maar lag duidelijk aan de onderkant van eerder berekende verliezen voor andere vrijloopstallen. Wel was het verlies uit deze stal duidelijk hoger dan het verlies uit een referentie ligboxenstal (11%). Inclusief de indicatief berekende N-vervluchtiging tijdens en na toediening van drijfmest en gecomposteerde bedding op het land was de totale N-vervluchtiging uit vrijloopstal Langenkamp 21% van de N-excretie in de stal, weinig hoger vergeleken met 19% uit de referentie ligboxenstal. Na een relatief groot N-verlies tijdens de eerste twee weken van de balansperiode varieerde het N-verlies in de twee maanden daarna rond 0%. Een indicatieve (grobe) splitsing van het N-verlies tussen bedding en roostervloer gaf een N-verlies van 29% van de N-excretie op de bedding en van 3% van de N-excretie op de roostervloer. De bedding leverde daarmee over de hele balansperiode de grootste bijdrage aan het N-verlies uit de stal. Er was tijdens de balansperiode, na uitsluiting van het afwijkende hoge N-verlies op het eerste meetpunt, sprake van een significante relatie ( $P = 0,03$ ;  $R^2_{\text{adj.}} = 40\%$ ) tussen het cumulatieve N-verlies en de C/N-verhouding van de bedding. De doelstelling om tijdens de compostering een groot deel van de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa werd in redelijke mate gerealiseerd. Een

---

hogere N- binding, en daarmee een lager N-verlies, had mogelijk gerealiseerd kunnen worden door eerder en meer nieuwe houtsnippers bij te strooien, een onbewerkte stabiele onderlaag over de winterperiode te handhaven, dieper te frezen en door de stalventilatie te optimaliseren. De resultaten van vrijloopstal Langenkamp bevestigen het beeld dat vrijloopstallen met intensieve compostering van houtsnippers de potentie hebben om een laag N-verlies te realiseren, en dat intensief composteren een lager N-verlies geeft dan extensief composteren.

---

# 1 Inleiding

Een aantal Nederlandse melkveehouders stapte de laatste jaren over van een ligboxenstal met 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 ( $\text{NH}_3$ ), lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), stikstofgas ( $\text{N}_2$ ) en overige stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ). 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 dit niet, dan zal de productiviteit dalen. Gebeurt dit met de aanvoer van 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.

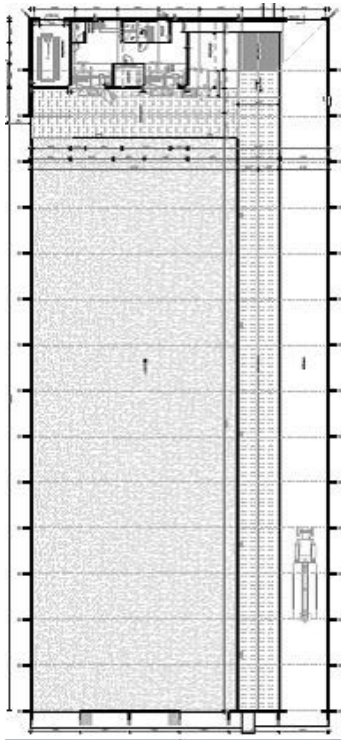
Om inzicht te krijgen in de milieu- en productiviteitseffecten van de omschakeling van een ligboxenstal naar een vrijloopstal is het dus nodig om inzicht te krijgen in de totale hoeveelheid N die vervluchtigt uit de vrijloopstal en deze te vergelijken met de ligboxenstal. N vervluchtigt niet alleen uit 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 beddingmanagement, waardoor er grote verschillen in niveau van N-verlies tussen vrijloopstallen kunnen zijn (Galama et al., 2015). Daarom is het van belang om het N-verlies van meerdere vrijloopstallen vast te stellen. Het onderzoek in dit rapport richtte zich op het vaststellen van het N-verlies door vervluchtiging uit de vrijloopstal van de familie Langenkamp-Niens in Dalfsen (Overijssel). De vloer van deze stal bestond deels uit een organische bedding met houtsnippers (liggedeelte) en deels uit roostervloer (sta- en loopgedeelte). De bedding werd gecomposteerd bij een doeltemperatuur van 50 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 is 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 niveau van N-verlies uit deze stal en de ontwikkeling daarvan over de tijd; 2) vaststellen van de bijdrage van de bedding aan het verlies; 3) verklaring van de ontwikkeling van het N-verlies uit de stal op basis van veranderingen in beddingeigenschappen; 4) vaststellen van de indicatieve bijdrage van de aanwending van mest op het land aan het totale N-verlies uit deze stal; en 5) vergelijking van het totale niveau van N-verlies (stal + land) uit deze vrijloopstal met dat van een referentie ligboxenstal. Het N-verlies uit de stal werd vastgesteld door het berekenen van N, P (fosfor) en K (kalium) balansen per twee tot drie weken over een periode (balansperiode) van ruim zes maanden (van 15 november 2014 en 3 juni 2015).

## 2 Materiaal & methoden

### 2.1 Beschrijving stal en stalvloer

Bij vrijloopstal Langenkamp-Niens (hierna afgekort tot Langenkamp) bestond het overgrote deel van het vloeroppervlak uit vrijloopbedding (1390 m<sup>2</sup>) omgeven door een smalle strook roostervloer (398 m<sup>2</sup>) achter het voerhek en voor het melkgedeelte (Figuur 1). In de stal waren melkgevende koeien, droogstaande koeien, vaarzen en pinken gehuisvest. De melkgevende koeien, vaarzen en pinken waren gehuisvest op de vrijloopbedding en de roostervloer daar omheen. De droge koeien waren achter in de stal (onder in de plattegrond) gehuisvest, over een lengte van ruim twee spantvakken (ca. 12 m) en gescheiden van de overige dieren met een stroomlint. De roostervloer in de stal was geheel onderkelderd en de keldervloer bestond uit één aaneengesloten oppervlak van in totaal 435 m<sup>2</sup>. De voergang was niet onderkelderd. Het oppervlak van de drijfmestkelder was wat groter dan het oppervlak van de roostervloer, omdat een klein deel van de roostervloer (links bovenin op de plattegrond) normaal niet voor de koeien toegankelijk was. De roostervloer bestond uit een Veld-V-beton Ecovloer (BWL 2010.34). Tijdens het onderzoek werd er geen weidegang toegepast en bleven de koeien op stal. Het doel hiervan was om complicaties bij de balansberekening te minimaliseren.



**Figuur 1** *Plattegrond van vrijloopstal Langenkamp, met linksonder de vrijloopbedding (grijs), rechts daarvan roostervloer (grijs met stippelijntjes) en daarnaast de voergang (wit). Boven de vrijloopbedding ook roostervloer met daarboven het melk- en kantoorgedeelte.*

De vloer onder de vrijloopbedding bestond uit betonplaten van 2 x 2 m, met op de scheiding tussen de platen de beluchtingsbuizen (Foto 1). 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 28 cm. Dit gaf gemiddeld 1,8 beluchtingsgaatje per m<sup>2</sup>. Met een centrale ventilator werd regelmatig buitenlucht via de beluchtingsgaatjes door de bedding geblazen.



**Foto 1** Voorbeeld van de positie van de beluchtingsbuizen tussen de betonplaten.

## 2.2 Beddingmanagement

De beoogde composteringmethode bij vrijloopstal Langenkamp was gebaseerd op de methode van Wiersma (De Boer, 2015a). Deze methode bestond uit het gebruik van verse (loof)houtsnippers als bedding, regelmatig bijstrooien van verse 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. Het composteringsproces startte met de aanvoer van een grote partij verse houtsnippers en daarna werden met tussenpozen nieuwe partijen verse houtsnippers bijgestrooid. De bedding werd gecomposteerd met een richttemperatuur van 50 tot 55°C.

Er werd mechanisch belucht door meerdere keren per etmaal gedurende korte tijd buitenlucht via de vloer door de bedding te blazen. De beluchtingsfrequentie was t/m 9 december iedere vijf uur 20 minuten, t/m 26 januari iedere vijf uur 10 minuten, en t/m 3 juni iedere 3 uur 10 minuten. De maximale capaciteit van de ventilator was 4000 m<sup>3</sup> uur<sup>-1</sup> (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. Vrijwel iedere dag werd de bedding gefreesd (Maschio frees), in het begin van de balansperiode enkele periodes 10 tot 20 cm diep en vanaf half januari tot een diepte van circa 20 cm. Het frezen was bedoeld om de toplaag schoon te houden en de uitgescheiden mest goed te mengen met de houtsnippers. Vanaf begin maart werd de bedding regelmatig losgetrokken met een woelpoot of vaste-tand cultivator, eerst eens per week en vanaf eind april twee keer per week of vaker. Het doel hiervan was om geconstateerde verdichting in de bedding op te heffen. Op een dag dat de bedding werd losgetrokken werd deze niet gefreesd.

## 2.3 Gegevensverzameling

De N-, P- en K-balans (afgekort NPK-balans) werd berekend voor de periode tussen 15 november 2014 en 3 juni 2015. De balansperiode duurde daarmee 200 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 en een deel door een medewerker van Livestock Research.

### *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, 10, 20 en 30 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 opnamer 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 plekken op regelmatige afstand van elkaar. De temperatuurmetingen startten op 15 november en een regelmatige meting van de beddinghoogte op 26 november.

---

De melkveehouder hield verder de volgende gegevens bij van de vrijloopstal:

- het dagelijkse aantal aanwezige dieren per diercategorie
- het dagelijks gevoerde ruwvoerrantsoen (hoeveelheid en samenstelling)
- het dagelijks gevoerde krachtvoerrantsoen (hoeveelheid en samenstelling)
- de aanvoer van houtsnippers (hoeveelheid en datum)
- de afvoer van bedding (hoeveelheid en datum)
- de afvoer van drijfmest (hoeveelheid en datum)
- het dagelijkse regime van beddingmanagement (beluchting en bewerking)

#### *Gegevensverzameling bij een bedrijfsbezoek*

Tijdens de balansperiode werd het bedrijf iedere twee tot drie weken bezocht door dezelfde medewerker van Livestock Research. Het eerste bedrijfsbezoek was op 15 november 2014 en het laatste op 3 juni 2015. In totaal werd het bedrijf 12 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 aanwezige drijfmest bemonsterd. Daarnaast werden monsters genomen van tussentijds aangevoerde partijen houtsnippers. De gevolgde methodiek bij de uitvoer van bovenstaande metingen is beschreven bij de toelichting op de berekening van de balanspost waarvoor deze meting nodig was (paragraaf 2.5).

## 2.4 Methodiek voor berekening NPK-balans en N-verlies

De cumulatieve (oplopende) NPK-balans van de vrijloopstal werd voor ieder meetmoment (= bedrijfsbezoek) berekend. De NPK-balans werd berekend als het verschil tussen de hoeveelheid NPK die tijdens een periode in de vrijloopstal werd aangevoerd minus de hoeveelheid NPK die tijdens deze periode in de stal 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 daarmee het gevolg van toevallige en systematische fouten bij het verzamelen van de gegevens. Omdat de gegevens voor de P- en K-balans op grotendeels 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 werden daarom gebruikt om de N-balans te corrigeren voor de meetfout. Verwacht werd dat met deze correctie het N-verlies nauwkeuriger berekend kon worden dan zonder correctie. Er is geen standaard methode 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 alle 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.

Het verschil tussen de gecorrigeerde N-aanvoer en de 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 onder de roostervloer. 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 in de stal. 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:  $N_{\text{strooisel}} + N_{\text{excretie}}$ .  $N_{\text{excretie}}$  werd berekend als:  $N_{\text{ruwvoer}} + N_{\text{krachtvoer}} - N_{\text{melk}} - N_{\text{dieren}}$ . Deze berekeningen werden uitgevoerd met de gegevens 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 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:  $100\% - \% \text{ PK-excretie op de bedding}$ . De verdeling van N-excretie over bedding en roostervloer kon niet rechtstreeks worden berekend, omdat een deel van de N-excretie kon vervluchtigen en het percentage vervluchtiging kon verschillen tussen bedding en roostervloer. Voor berekening van deze 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 Langenkamp; daarom werd gebruik gemaakt van de gegevens uit ander onderzoek (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<sub>3</sub>-emissiefactor met 23% (Ogink, 2012). N vervluchtigt niet alleen uit de stal, maar ook tijdens en na het uitrijden van de mest op het land<sup>1</sup>. 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 Langenkamp een indicatieve berekening gemaakt van de totale N-vervluchtiging inclusief het uitrijden van mest op het land. Deze vervluchtiging werd vergeleken met de totale N-vervluchtiging van de

<sup>1</sup> 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

---

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 (De Boer, 2014). Op basis van de hoeveelheid aanwezige N in drijfmest en gecomposteerde bedding 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 Langenkamp uit (verse) houtsnippers, afkomstig uit o.a. gerooide boomgaarden (o.a. acacia- en kersenhout) en van een landgoed in de omgeving (boshoutsnippers). De hoeveelheid houtsnippers en NPK in houtsnippers die in de stal aanwezig was bij start van de balansdatum op 15 november werd bepaald als onderdeel van de beddingmeting tijdens het eerste bedrijfsbezoek op 15 november (zie paragraaf 2.5.5).

De overige aangevoerde partijen waren gewogen op een meetbrug of het gewicht werd berekend als: aangevoerd volume \* bulkdichtheid. De bulkdichtheid van aangevoerde partijen werd bepaald op dezelfde manier als de bulkdichtheid van de bedding in de stal (zie paragraaf 2.5.5). In de meeste gevallen werden de aangevoerde houtsnippers direct of binnen enkele dagen in de stal gebracht. In één geval werd een aangevoerde partij langere tijd opgeslagen op het erf, waardoor de bulkdichtheid kon toenemen als gevolg van neerslag. In dat geval werd niet het gewicht van de aanvoerbon gebruikt, maar het berekende gewicht op basis van aangevoerd volume en de bepaalde bulkdichtheid rond het moment van bijstrooien.

Monsters van nog aanwezige partijen houtsnippers op het moment van bedrijfsbezoek, of door de melkveehouder apart gehouden houtsnippers, werden verzameld van de partij aangevoerd op 15 november, 22 december, 5 januari en 15 januari. Deze monsters werden door het ETE servicelaboratorium (Wageningen) geanalyseerd op drogestof, as, totaal N, totaal P, totaal K en totaal C. De NPK-aanvoer werd voor houtsnippers die in de stal waren aangevoerd t/m 19 november berekend met de analyse van het monster van 15 november, voor de aanvoer op 22 december met het monster genomen op 22 december, voor de aanvoer op 5 januari met het monster van 5 januari, voor de aanvoer t/m 2 februari met het monster van de aanvoer op 15 januari (monster genomen op 30 januari), voor de aanvoer op 26 maart met het monster van 22 december (zelfde type houtsnippers en leverancier) en voor de aanvoer op 7 april met het monster van 30 januari (laatste restant uit opslag van de partij aangevoerd op 15 januari). Met de berekende aanvoer per datum werd vervolgens de cumulatieve aanvoer van houtsnippers en NPK met houtsnippers per meetmoment berekend voor de balansperiode.

### 2.5.2 $NPK_{\text{ruwvoer}}$

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.

Het ruwvoer bestond uit graskuil, snijmaïskuil, koolzaadstro en hennepkuil (gehakseld, balen). De gevoerde hoeveelheden werden door de melkveehouder per soort gewogen in de voermengwagen en per dag bijgehouden. De NPK-gehalten in de kuilen waren bepaald door Blgg AgroXpertus (Wageningen). De NPK-gehalten van koolzaadstro werden overgenomen van de leverancier en voor



---

het missende K-gehalte van de gehakselde hennepbalen werd een geschatte waarde van  $19 \text{ g kg}^{-1}$  product gebruikt.

Van het dagelijks gevoerde ruwvoerrantsoen bleef naar schatting van de melkveehouder 5% over als restvoer. Dit restvoer werd aan het jongvee buiten de vrijloopstal gevoerd. De gevoerde hoeveelheden NPK met ruwvoer werden voor deze 5% restvoer gecorrigeerd door te vermenigvuldigen met factor 0,95.

### 2.5.3 $\text{NPK}_{\text{krachtvoer}}$

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd aangevoerd met 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 gevoerde krachtvoer in de vrijloopstal bestond uit vochtrijk krachtvoer en mengvoer. Het vochtrijke krachtvoer bestond uit maïsvlokken en bietenperspulp. 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.

Het mengvoer bestond uit enkelvoudig mengvoer en brok. Het enkelvoudige mengvoer bestond uit sojaschroot en raapzaadschroot; de brok bestond uit een eiwitmix, Molacto en A-brok. De gevoerde hoeveelheden sojaschroot, raapzaadschroot en eiwitmix werden door de melkveehouder per soort gewogen in de voermengwagen en per dag bijgehouden. De gebruikte NPK-gehalten waren afkomstig van de leverancier.

Al het gevoerde krachtvoer, behalve de Molacto en A-brok, werd dagelijks in de voermengwagen gemengd met het ruwvoer tot één rantsoen. De Molacto en A-brok werden gevoerd uit twee voersilo's. Per dag werd alleen het totale verbruik uit beide silo's geregistreerd. Het gemiddelde aandeel van beide soorten in het dagelijkse verbruik werd berekend op basis van de leveringen van Molacto en A-brok tijdens een meetperiode van 30 september 2014 t/m 6 maart 2015. Vervolgens werd de hoeveelheid NPK die in dagelijks in de vrijloopstal werd aangevoerd met Molacto berekend als: dagelijks totale hoeveelheid gevoerd product uit voersilo's (A-brok + Molacto) \* gemiddeld aandeel Molacto \* NPK-gehalten in Molacto. Dezelfde berekening werd ook uitgevoerd voor A-brok. Van het dagelijks gevoerde krachtvoer (behalve Molacto en A-brok) bleef naar schatting 5% over als onderdeel van het restvoer (zie paragraaf 2.5.2). De gevoerde hoeveelheden NPK met krachtvoer (behalve Molacto en A-brok) werden voor deze 5% gecorrigeerd door te vermenigvuldigen met factor 0,95.

### 2.5.4 $\text{NPK}_{\text{drijfmest}}$

De hoeveelheid NPK die tijdens de balansperiode in de vrijloopstal werd vastgelegd in geproduceerde drijfmest werd berekend op basis van de toename van de hoeveelheid NPK in drijfmest in de kelder in de periode tussen 15 november 2014 en 11 maart 2015, inclusief tussentijds afgevoerde (kleine) partijen. Na het bedrijfsbezoek op 11 maart werden meerdere grote partijen drijfmest uitgereden op het land. De overblijvende laag mest in de kelder kon hierdoor niet meer voldoende representatief bemonsterd worden en was niet geschikt om de hoeveelheid tussentijds geproduceerde drijfmest en NPK in drijfmest te berekenen. Tussen 15 november en 11 maart werd de drijfmest in de kelder nauwelijks verstoord; er werden alleen enkele kleine partijen afgevoerd als de kelder te vol werd. Deze periode werd daarom 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 op 11 plekken, regelmatig verdeeld over de totale lengte van de roostervloer, en daarna gemiddeld. De drijfmestkelder bestond uit één aaneengesloten oppervlak van  $435 \text{ m}^2$ . Aan de achterkant van de

stal was een mixerput met een elektrische mestmixer. Voor aanvang van iedere meting werd de drijfmest in de kelder 5 tot 10 minuten lang gemixt.

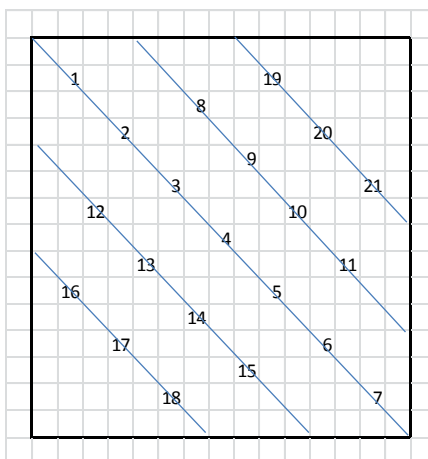
Ieder bedrijfsbezoek werd de drijfmest bemonsterd op dezelfde plekken waar de drijfmesthoogte werd gemeten. Voor de bemonstering werd een multisampler gebruikt (lengte 1,8 m; diameter 35 mm) (Eijkelkamp, Giesbeek). De multisampler werd door de roosters gestoken om de monsters te kunnen nemen. De 11 submonsters werden samengevoegd tot een verzamelmonster. Alle verzamelmonsters werden door het ETE-servicelaboratorium geanalyseerd op dichtheid, drogestof, as, totaal N, NH<sub>4</sub>-N, totaal P, totaal K en totaal C.

Met lineaire regressie (Genstat, 17<sup>e</sup> editie) werd de relatie tussen de toename van de hoeveelheid geproduceerde drijfmest en NPK in drijfmest (kelder + afvoer) en de tijd (datumwaarde) geanalyseerd voor de meetperiode. Met de afgeleide relaties werd de cumulatieve geproduceerde hoeveelheid drijfmest en NPK in drijfmest per meetmoment berekend voor de balansperiode.

### 2.5.5 NPK<sub>bedding</sub>

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd vastgelegd in de bedding werd per meetmoment berekend als: hoogte bedding \* oppervlakte bedding \* bulkdichtheid bedding \* NPK-gehalte bedding. Wanneer er sprake was van een tweedeling in een onder- en bovenlaag werd de bovenstaande berekening per laag uitgevoerd en werden de hoeveelheden bij elkaar opgeteld.

De bedrijfsbezoeken werden in de ochtend uitgevoerd, voor het dagelijkse moment van frezen. De beddinghoogte werd gemeten op 21 plekken verdeeld over het beddingoppervlak (Figuur 2) en daarna gemiddeld. Bij de bedrijfsbezoeken op 19 december en 9 januari was er een waarneembare onderlaag. De hoogte van deze onderlaag werd afzonderlijk gemeten op vier plekken regelmatig verdeeld over de diagonale lijn van de bedding (Figuur 2) en gemiddeld. De bulkdichtheid van de hele laag, of van zowel de onderlaag als bovenlaag, werd t/m het bedrijfsbezoek op 9 januari eveneens gemeten op de vier plekken op de diagonale lijn van de bedding. Vanaf het bedrijfsbezoek op 30 januari werd de bulkdichtheid van de hele laag gemeten op zeven plekken op de diagonale lijn. Op de meetplekken werd een gat in de bedding gespit, werd de hoogte van de onderlaag gemeten, en werd het beddingmateriaal (per laag) verzameld en gemengd. De bulkdichtheid werd vervolgens bepaald door een emmer met een volume van 5 L te vullen met bedding en dit stevig aan te drukken. Het gewicht van de volle emmer werd vervolgens gedeeld door het volume. De bulkdichtheid werd per laag gemiddeld over alle meetplekken. Naast de bulkdichtheid werd ook de porositeit (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 was een indicatie voor het volume lucht in de bedding, bij aanname dat alle poriën gevuld werden met water. De porositeit werd berekend als: (gewicht volle emmer met water - gewicht volle emmer zonder water) / volume emmer. De porositeit werd eveneens gemiddeld over alle meetplekken. Bij alle metingen met gebruik van emmers werd gecorrigeerd voor het gewicht van de emmers.



**Figuur 2** Meetpatroon voor bepaling van de gemiddelde beddinghoogte.

---

Op de meetplekken werd ook de deeltjesgrootte gemeten. Bij de bedrijfsbezoeken op 19 december en 9 januari werd de deeltjesgrootte van zowel de boven- als onderlaag gemeten en bij de andere bezoeken de deeltjesgrootte van de hele laag. 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 bedding werd ieder bedrijfsbezoek per laag bemonsterd om de samenstelling te bepalen. Op de meetplekken werd per laag een submonster genomen. De submonsters werden per laag gemengd tot een verzamelmonster. De verzamelmonsters werden door het ETE-servicelaboratorium geanalyseerd op drogestof, as, totaal N, totaal P, totaal K, totaal C, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N en pH (in water).

#### 2.5.6 NPK<sub>melk</sub>

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd vastgelegd in geproduceerde melk werd berekend als: hoeveelheid aan de fabriek geleverde melk \* NPK-gehalte melk. De geleverde hoeveelheden melk, het eiwitgehalte, vetgehalte en ureumgetal, werden per twee tot drie dagen gemeten en geregistreerd door de melkfabriek. Deze gegevens werden voor de balansberekeningen overgenomen van de leveringsoverzichten. Het N-gehalte in de melk werd berekend als: melkeiwitgehalte \* 15,7% (CBS, 2011). Voor het P- en K-gehalte werd een standaardwaarde gebruikt van respectievelijk 1,0 en 1,6 g kg<sup>-1</sup> melk (CBS, 2011). Naast de geleverde melk werd ook een kleine hoeveelheid 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 vervolgens per meetmoment de cumulatieve hoeveelheid geleverde melk en de vastgelegde NPK in melk berekend voor de balansperiode.

#### 2.5.7 NPK<sub>dieren</sub>

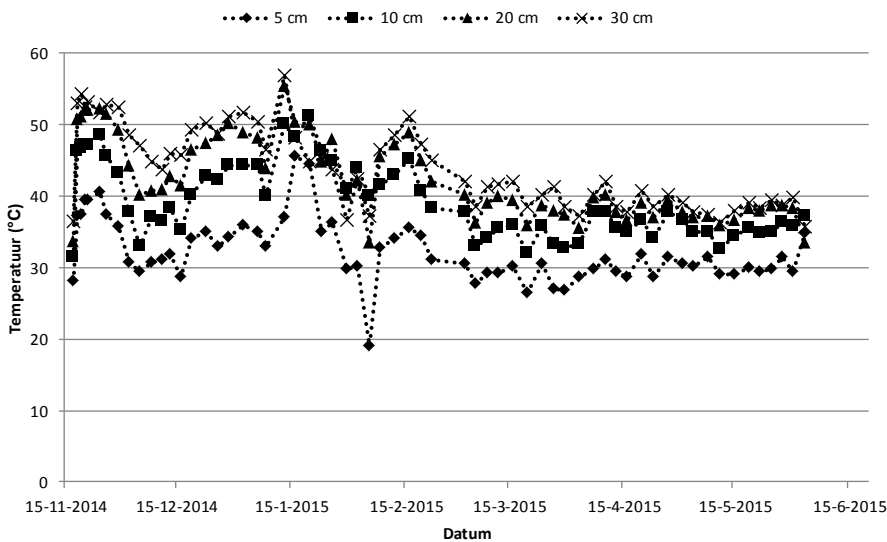
De hoeveelheid NPK vastgelegd in dieren kan bestaan uit NPK vastgelegd in geboren kalveren, in groeiende jonge dieren en in volwassen dieren. De NPK-vastlegging in geboren kalveren en groeiende dieren is verwaarloosbaar klein vergeleken met de andere vastleggingsposten op de balans (0,6 tot 1,2% van de totale vastlegging op de N-balans, 1,0 tot 1,8% op de P-balans en <0,1% op de K-balans) (Galama et al., 2015). 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

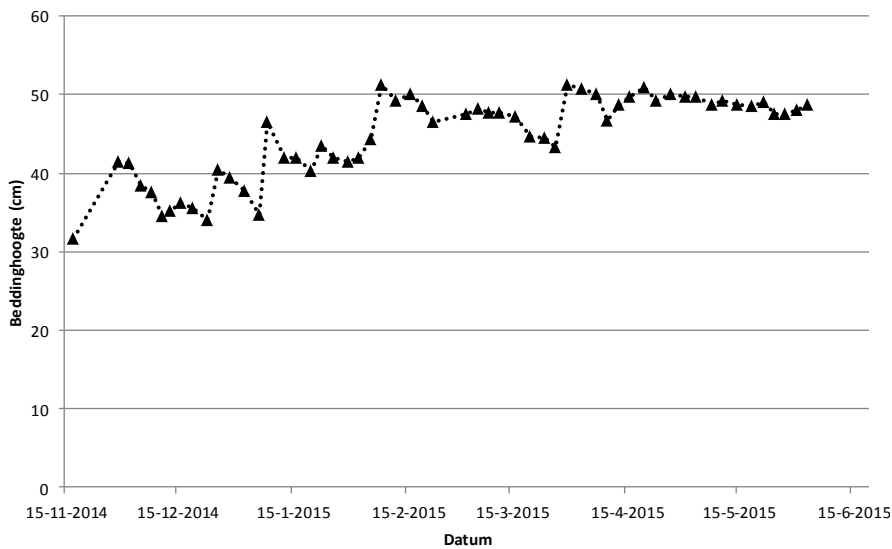
De beddingtemperatuur, gemeten door de melkveehouder, varieerde tijdens de balansperiode op 5 cm diepte tussen de 19 en 46°C, op 10 cm tussen de 31 en 51°C, op 20 cm tussen de 32 en 56°C en op 30 cm diepte tussen de 35 en 57°C (Figuur 3). De temperatuur op 5 cm diepte was duidelijk lager dan dieper in de bedding vanwege het afkoelende effect van de omgevingstemperatuur. De temperatuurrange dieper in de bedding (32 tot 57°C) was groter dan de nagestreefde range van 50 tot 55°C. Vanaf begin maart schommelde de temperatuur dieper in de bedding tussen de 32 en 42°C. Op enkele momenten tijdens de balansperiode viel de temperatuur sterk terug, bijvoorbeeld in de eerste week van december en de eerste week van februari.



**Figuur 3** Ontwikkeling van de composteringstemperatuur in de bedding van de vrijloopstal tijdens de balansperiode op 5, 10, 20 en 30 cm diepte (waarde meetpunt is het gemiddelde van vier submetingen).

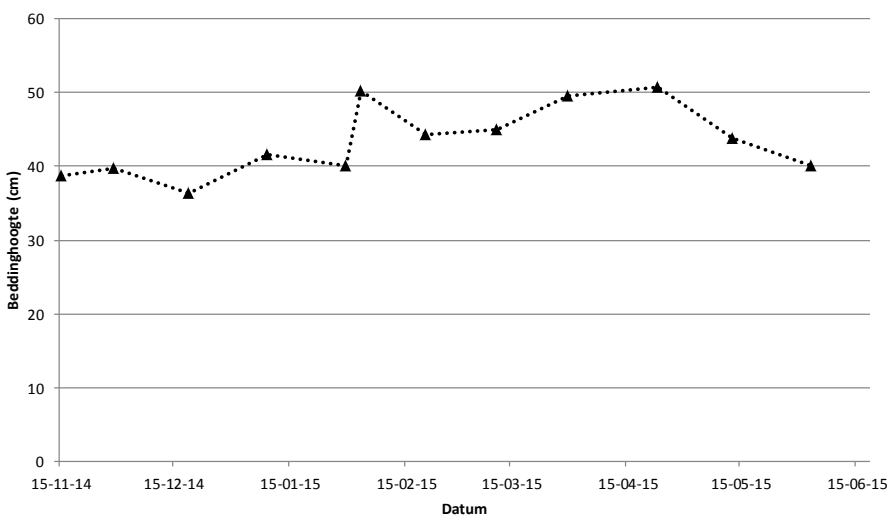
### 3.1.2 Beddinghoogte

De beddinghoogte, gemeten door de melkveehouder, varieerde tussen de 32 en 51 cm tijdens de balansperiode (Figuur 4).



**Figuur 4** Ontwikkeling van de beddinghoogte in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gemeten door de melkveehouder.

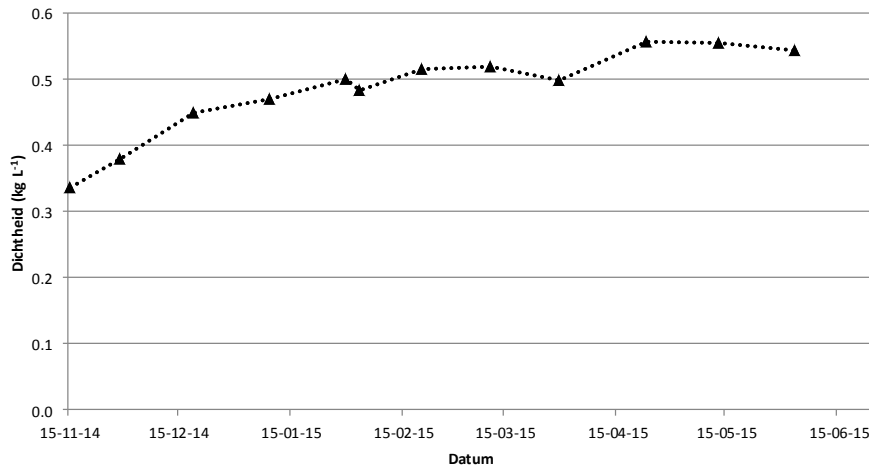
De totale beddinghoogte, gemeten door de WLR-medewerker, varieerde tussen de 36 en 55 cm tijdens de balansperiode (Figuur 5). De hoogte van de waarneembare onderlaag op 19 december en 9 januari was respectievelijk 15 en 3 cm. De ontwikkeling van de hoogte zoals gemeten door de medewerker week op meerdere momenten af van de ontwikkeling van de hoogte zoals gemeten door de melkveehouder. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk het grote verschil in aantal meetpunten. Omdat de hoogte gemeten door de medewerker het gemiddelde was van een meetpatroon van 21 punten regelmatig verspreid over het beddingoppervlak, werd deze meting als het meest betrouwbaar beoordeeld.



**Figuur 5** Ontwikkeling van de beddinghoogte in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gemeten door de WLR-medewerker.

### 3.1.3 Dichtheid bedding

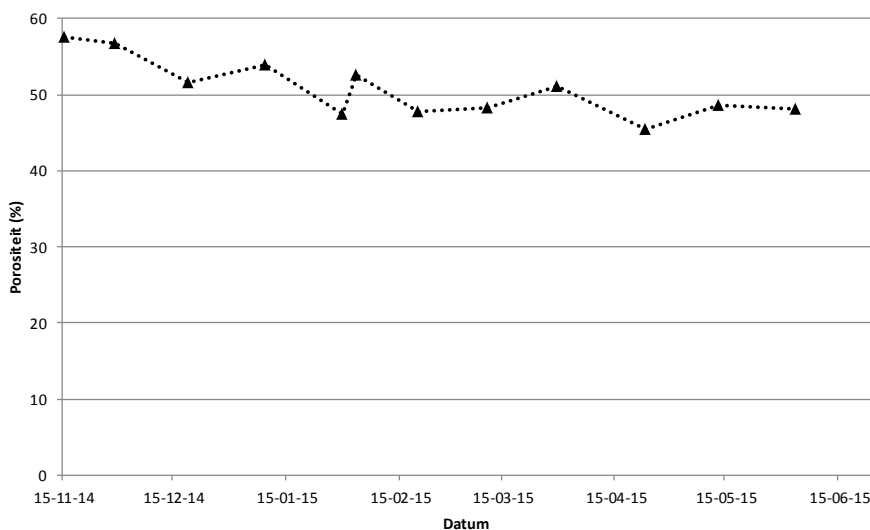
De dichtheid van de bedding nam toe van 0,34 kg L<sup>-1</sup> aan het begin van de balansperiode tot 0,54 kg L<sup>-1</sup> aan het einde (Figuur 6). De waarneembare onderlaag op 19 december en 9 januari had een dichtheid van respectievelijk 0,40 en 0,34 kg L<sup>-1</sup>, lager dan de dichtheid van de bovenlaag op dat moment van respectievelijk 0,45 en 0,47 kg L<sup>-1</sup>.



**Figuur 6** Ontwikkeling van de dichtheid van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode (op 19 december en 9 januari alleen van de bovenlaag).

### 3.1.4 Porositeit bedding

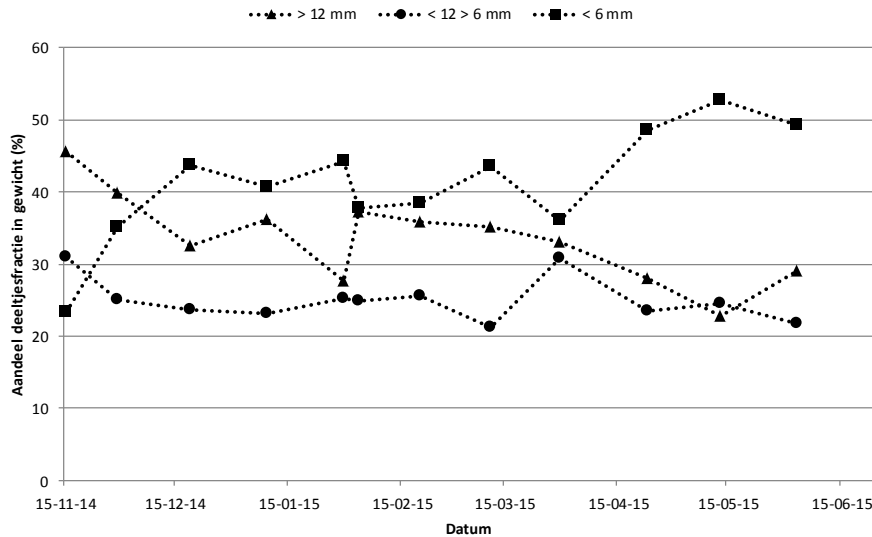
De porositeit van de bedding daalde van 58% aan het begin van de balansperiode tot 48% aan het einde (Figuur 7). De waarneembare onderlaag op 19 december en 9 januari had een porositeit van respectievelijk 56 en 59%, wat hoger dan de porositeit van de bovenlaag op dat moment van respectievelijk 52 en 54%.



**Figuur 7** Ontwikkeling van de porositeit van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode (op 19 december en 9 januari alleen van de bovenlaag).

### 3.1.5 Deeltjesgrootte bedding

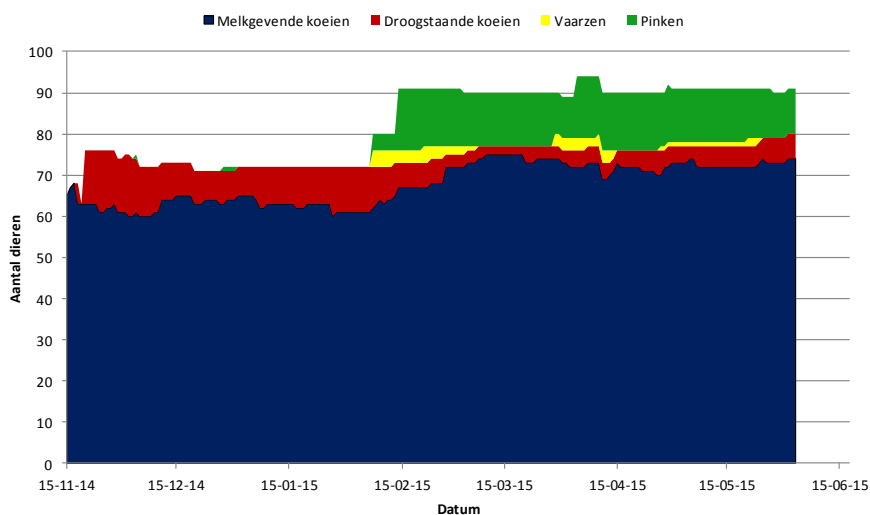
De gemiddelde deeltjesgrootte in de bedding nam tijdens de balansperiode af (Figuur 8). Het percentage deeltjes kleiner dan 6 mm nam toe van 23 tot 49%, het percentage deeltjes groter dan 12 mm nam af van 46 tot 29% en het percentage deeltjes tussen 6 en 12 mm nam af van 31 tot 22%. Vanwege het geringe aantal meetpunten is de gemiddelde deeltjesgrootte van de waarneembare onderlaag op 19 december en 9 januari hier niet gerapporteerd.



**Figuur 8** Ontwikkeling van deeltjesgrootte in de bedding, aandeel fractie in totaal gewicht (op 19 december en 9 januari alleen van de bovenlaag).

## 3.2 Samenstelling veestapel

Tijdens de balansperiode waren er gemiddeld 83 dieren in de vrijloopstal aanwezig, bestaande uit 68 melkgevende koeien, 7 droogstaande koeien, 1 vaars en 7 pinken. Tijdens de balansperiode nam het aantal melkgevende koeien en pinken in de vrijloopstal wat toe en nam het aantal droogstaande koeien wat af (Figuur 9).



**Figuur 9** Ontwikkeling van het aantal koeien in de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

## 3.3 Resultaten per balanspost

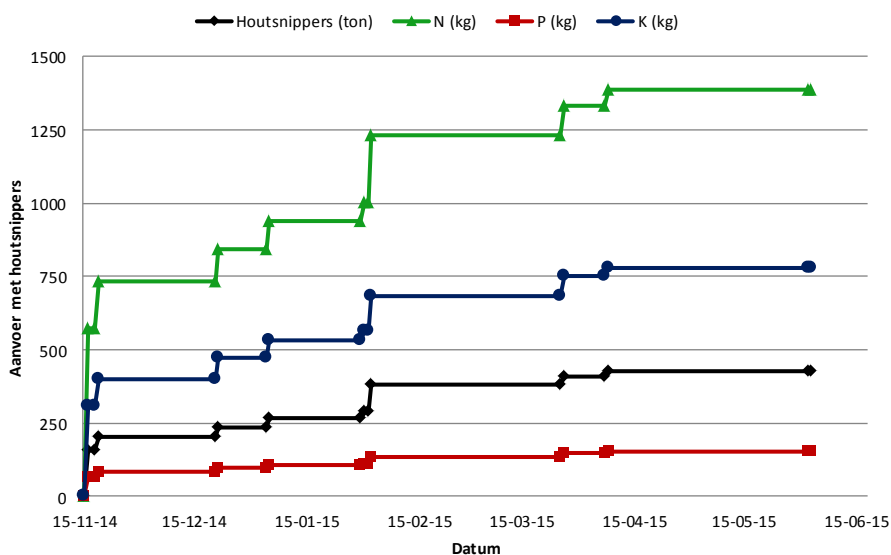
### 3.3.1 NPK<sub>strooisel</sub>

Bij vrijloopstal Langenkamp bestond het aangevoerde strooisel alleen uit houtsnippers. De samenstelling van bemonsterde partijen houtsnippers (inclusief aanwezige houtsnippers op 15 november) is gegeven in Tabel 2. In totaal werd tijdens de balansperiode 428 ton strooisel aangevoerd, met daarin 1385 kg N, 151 kg P en 778 kg K (Figuur 10).

Tabel 2

Samenstelling van in de vrijloopstal aangevoerde houtsnippers tijdens de balansperiode, bemonsterd op verschillende datums (in g kg<sup>-1</sup> product, behalve de berekende C/N-verhouding).

Datum	Ds	As	N	P	K	C	C/N
15-11-2014	630	24	3,59	0,41	1,93	317	88
22-12-2014	494	25	3,52	0,49	2,37	238	68
05-01-2015	588	9	3,15	0,23	1,90	289	92
30-01-2015	404	14	2,59	0,23	1,32	206	80

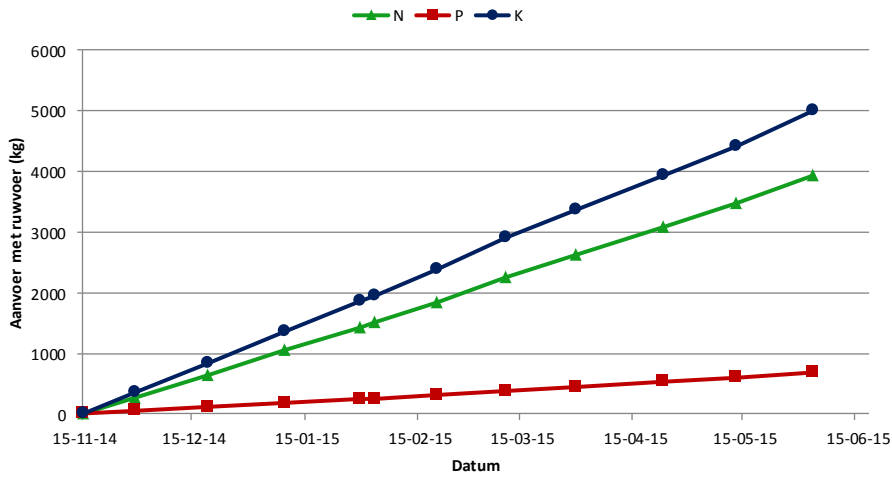


**Figuur 10** Cumulatieve aanvoer van houtsnippers en NPK met houtsnippers in de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

### 3.3.2 NPK<sub>ruwvoer</sub>

In totaal werd met ruwvoer 3926 kg N, 673 kg P en 4999 kg K aangevoerd in de vrijloopstal tijdens de balansperiode (Figuur 11).





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

### 3.3.3 NPK<sub>krachtvoer</sub>

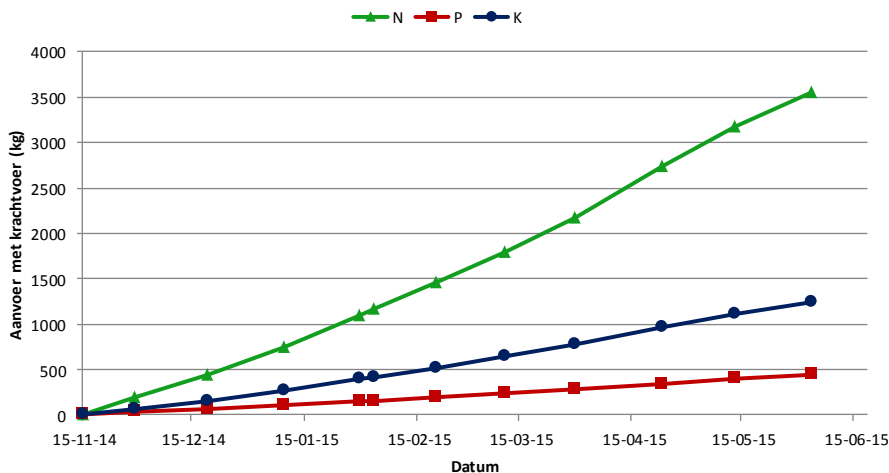
Gebaseerd op de mengvoerleveringen tussen 30 september en 1 mei (Tabel 3) werd de verhouding Molacto : A-brok voor de periode tot 5 januari berekend op 75 : 25, van 5 januari tot 6 maart op 76 : 24, en van 6 maart tot 3 juni op 88 : 12.

**Tabel 3**

*Hoeveelheden geleverd Molacto en A-brok in de voersilo's, per levering per soort voor de periode tussen 30 september 2014 en 1 mei 2015.*

Leverdatum	Molacto (kg)	A-brok (kg)
30-09-2014	4942	4960
04-11-2014	10004	-
05-01-2015	2046	935
14-01-2015	10179	2980
06-03-2015	5076	1871
26-03-2015	8136	-
01-05-2015	6049	4969
Totaal periode	40383	13726

In totaal werd met al het krachtvoer (vochtrijk krachtvoer en mengvoer) 3548 kg N, 443 kg P en 1244 kg K in de vrijloopstal aangevoerd (Figuur 12).



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

### 3.3.4 NPK<sub>drijfmest</sub>

Een overzicht van de ontwikkeling van de drijfmesthoogte en het berekende drijfmestvolume in de kelder is gegeven in Tabel 4, een overzicht van de uit de kelder afgevoerde volumes mest in Tabel 5 en een overzicht van de ontwikkeling in drijfmestsamenstelling in Tabel 6.

**Tabel 4**

*Ontwikkeling van de drijfmesthoogte (m) en het drijfmestvolume (m<sup>3</sup>) in de drijfmestkelder van de vrijloopstal tijdens de balansperiode.*

Datum	Drijfmesthoogte (m)	Drijfmestvolume (m <sup>3</sup> )
15-11-2014	1,33	578
29-11-2014	1,48	641
19-12-2014	1,69	737
09-01-2015	1,78	773
30-01-2015	1,91	829
20-02-2015	1,82	791
11-03-2015	1,81	789
30-03-2015	0,94	411
23-04-2015	1,00	433
13-05-2015	1,18	512
03-06-2015	0,67	292

**Tabel 5**

*Overzicht van afgevoerde volumes drijfmest uit de kelder van de vrijloopstal tijdens de balansperiode.*

Datum	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )
19-12-2014	50
16-01-2015	50
17-02-2015	95
10-03-2015	76
12-03-2015	150
14-03-2015	-10
17-03-2015	195
21-03-2015	114

**Tabel 6**

*Ontwikkeling in samenstelling van drijfmest in de drijfmestkelder van de vrijloopstal tijdens de balansperiode (in g kg<sup>-1</sup> vers product; dichtheid in kg L<sup>-1</sup>).*

Datum	Dichtheid	DS	As	N	P	K	C	NH <sub>4</sub> -N
15-11-14	1,02	45	11	2,55	0,38	2,91	19	1,21
29-11-14	1,01	43	10	2,54	0,39	2,84	17	1,11
19-12-14	1,02	40	10	2,49	0,35	2,99	17	1,26
09-01-15	1,01	36	10	2,41	0,33	2,79	15	1,12
30-01-15	1,02	37	10	2,48	0,32	2,94	15	1,24
20-02-15	1,02	42	10	2,59	0,35	2,98	18	1,20
11-03-15	1,03	41	11	2,50	0,36	2,90	17	1,26
30-03-15	1,03	106	20	4,26	0,71	3,81	48	1,91
23-04-15	1,03	90	18	3,74	0,66	3,46	40	1,56
13-05-15	1,03	83	18	3,68	0,67	3,47	36	1,51
03-06-15	1,03	67	15	3,38	0,55	3,34	30	1,38

Lineaire regressie gaf goede relaties tussen de ontwikkeling van de cumulatief geproduceerde hoeveelheid drijfmest en de tijd, en NPK in drijfmest en de tijd, tijdens de gekozen meetperiode (Figuur 13). Toevoeging van de aantallen aanwezige dieren per diercategorie als verklarende

variabelen gaf geen significante verbetering ( $P > 0,05$ ) van deze relaties. De relaties werden beschreven als:

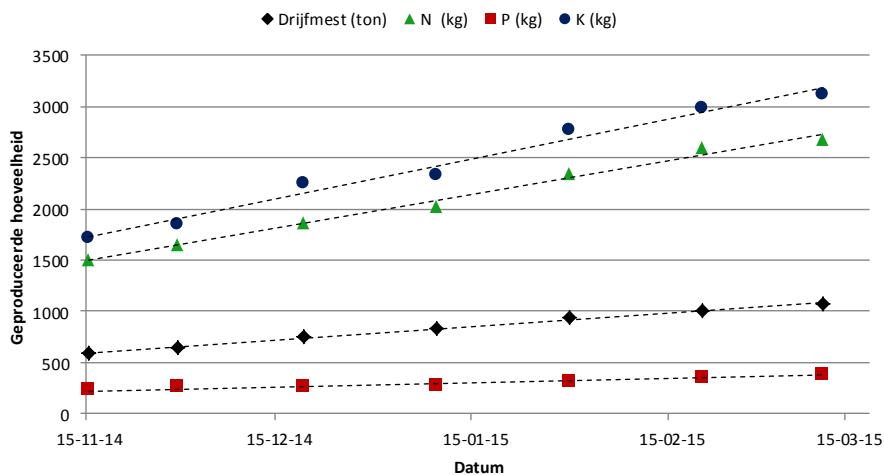
Drijfmest (ton) op gekozen datum =  $-176755 + 4,227 * \text{datumwaarde}$  ( $P < 0,001$ ;  $R^2_{\text{adj.}} = 99\%$ )

N (kg) op gekozen datum =  $-443046 + 10,595 * \text{datumwaarde}$  ( $P < 0,001$ ;  $R^2_{\text{adj.}} = 99\%$ )

P (kg) op gekozen datum =  $-53865 + 1,289 * \text{datumwaarde}$  ( $P < 0,001$ ;  $R^2_{\text{adj.}} = 94\%$ )

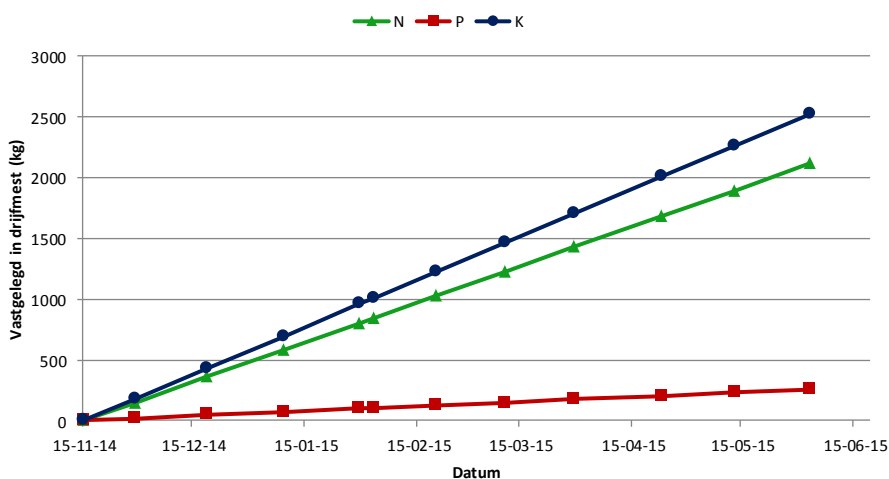
K (kg) op gekozen datum =  $-528695 + 12,642 * \text{datumwaarde}$  ( $P < 0,001$ ;  $R^2_{\text{adj.}} = 98\%$ )

Lineair regressie liet geen relaties zien tussen de ontwikkeling van het N-gehalte in de drijfmest en de tijd ( $P = 0,83$ ), het P-gehalte en de tijd ( $P = 0,20$ ) en het K-gehalte en de tijd ( $P = 0,63$ ), tijdens de gekozen meetperiode.



**Figuur 13** Ontwikkeling van de hoeveelheid geproduceerde drijfmest en NPK in drijfmest in de vrijloopstal tijdens de gekozen meetperiode.

De totale drijfmestproductie tijdens de balansperiode werd berekend op 845 ton en de totale vastlegging van NPK in geproduceerde drijfmest op 2119 kg N, 258 kg P en 2528 kg K (Figuur 14).



**Figuur 14** Cumulatieve vastlegging van NPK in geproduceerde drijfmest in de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

### 3.3.5 NPK<sub>bedding</sub>

De NPK-gehalten in de bedding namen aanzienlijk toe tijdens de balansperiode (Tabel 7). Op 31 januari en 2 februari werd er naar schatting respectievelijk 36 en 59 m<sup>3</sup> bedding langs de roostervloer uit de stal gehaald vanwege vernatting. Op basis van de gemeten bulkdichtheid en de samenstelling

op 30 januari werd de verwijderde hoeveelheid bedding en NPK berekend en in mindering gebracht op de berekende cumulatieve hoeveelheden op de meetmomenten daarna.

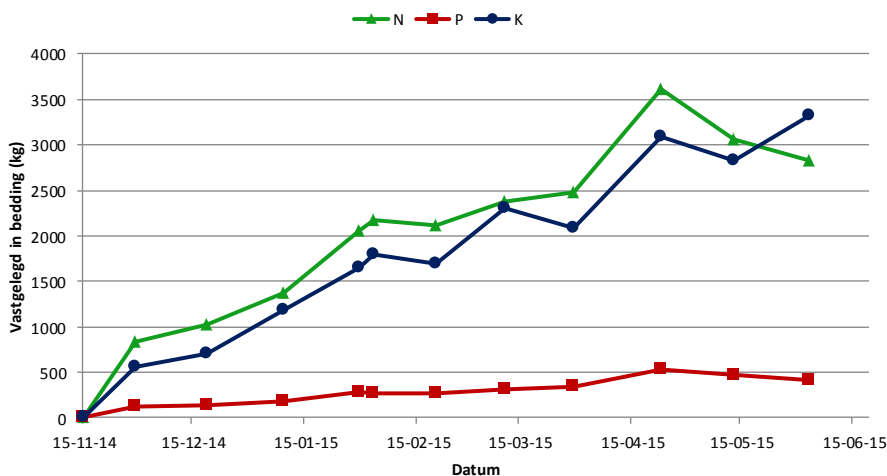
Tabel 7

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

Datum	DS	As	N	P	K	C	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	pH	C/N
15-11-14	630	24	3,59	0,41	1,93	317	0,01	0,00	6,6	88
29-11-14	543	26	3,95	0,56	2,63	258	0,11	0,00	7,5	65
19-12-14 <sup>1)</sup>	533	34	4,66	0,64	3,16	268	0,11	0,00	7,3	57
09-01-15 <sup>1)</sup>	513	39	5,13	0,66	4,41	247	0,17	0,00	8,1	48
30-01-15	465	61	7,41	0,99	5,94	213	0,18	0,00	8,4	29
03-02-15	476	30	5,38	0,64	4,49	222	0,07	0,00	7,8	41
20-02-15	442	27	5,53	0,69	4,42	202	0,14	0,00	8,0	37
11-03-15	415	41	6,22	0,82	6,23	187	0,18	0,00	8,4	30
30-03-15	409	35	6,19	0,85	5,27	196	0,16	0,00	8,1	32
23-04-15	668	77	8,27	1,22	7,14	178	0,19	0,00	8,4	22
13-05-15	381	49	8,02	1,24	7,52	181	0,17	0,00	8,5	23
03-06-15	403	55	8,20	1,23	10,1	225	0,21	0,00	8,7	28

<sup>1)</sup> gewogen samenstelling van de hele laag, berekend als: (hoogte onderlaag / hoogte hele bedding) \* samenstelling onderlaag + (hoogte bovenlaag / hoogte hele bedding) \* samenstelling bovenlaag. C/N-verhouding daarna berekend als: (gewogen C-gehalte/ gewogen N-gehalte)

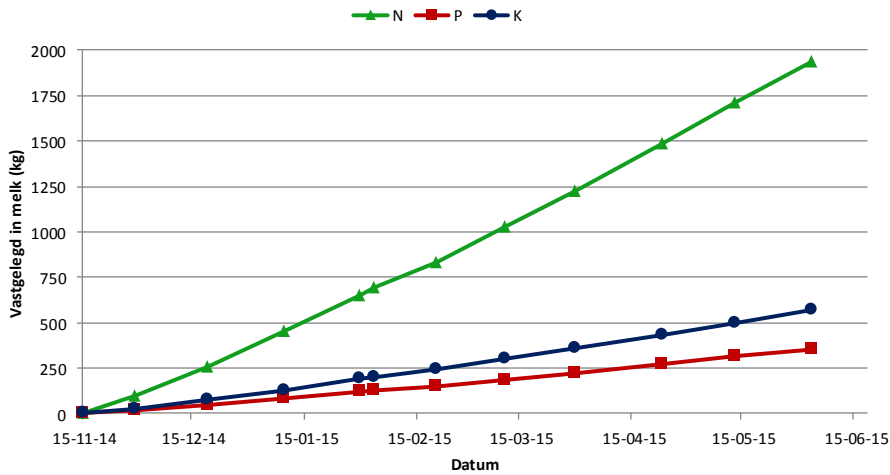
Aan het einde van de balansperiode was er 302 ton bedding in de stal aanwezig, met daarin vastgelegd 2477 kg N, 372 kg P en 3045 kg K. Op 31 januari en 2 februari was er naar schatting in totaal 47 ton bedding afgevoerd, met daarin 351 kg N, 47 kg P en 282 kg K. In totaal werd daarmee tijdens de balansperiode 2829 kg N, 418 kg P en 3326 kg K vastgelegd in de bedding (Figuur 15).



**Figuur 15** Cumulatieve vastlegging van NPK in de bedding van de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

### 3.3.6 NPK<sub>melk</sub>

De gemiddelde melkproductie van de melkkoeien (inclusief droogstand) in de vrijloopstal tijdens de balansperiode werd berekend op 23,9 kg per koe per dag en 8710 kg per koe per jaar. De totale melkproductie tijdens de balansperiode was 355093 kg, het gemiddelde eiwitgehalte 3,49%, het gemiddelde vetgehalte 4,49% en het gemiddelde ureumgetal 21. De totale vastlegging van NPK in geproduceerde melk in de vrijloopstal tijdens de balansperiode werd berekend op 1941 kg N, 355 kg P en 568 kg K (Figuur 16).



**Figuur 16** Cumulatieve vastlegging van NPK in melk in de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

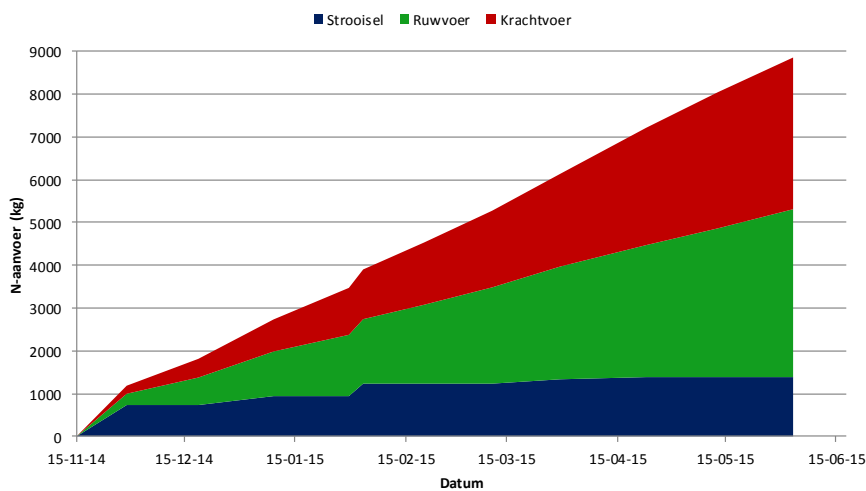
### 3.3.7 NPK<sub>dieren</sub>

De vastlegging van NPK in dieren was op nul gesteld, zie ook paragraaf 2.5.7.

## 3.4 NPK balans

### N-aanvoer

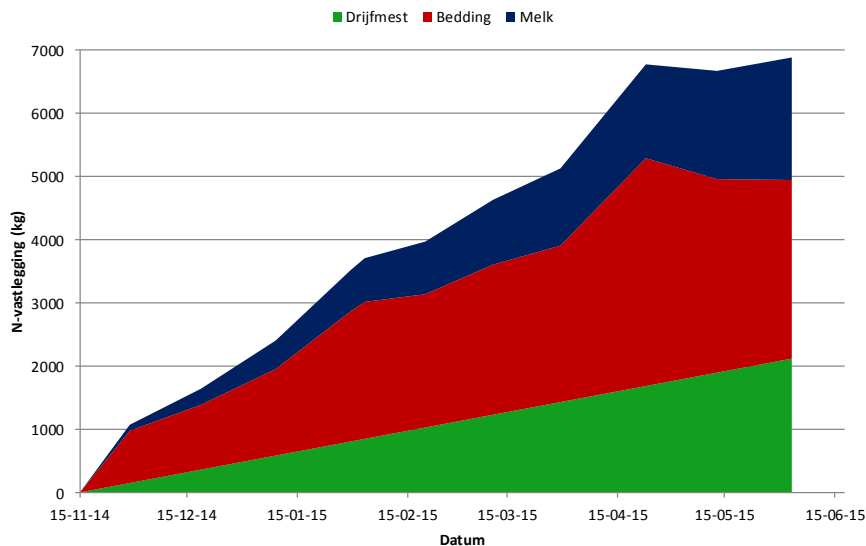
De cumulatieve totale N-aanvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode was 8860 kg (Figuur 17) (Tabel 10). Hiervan werd 16% aangevoerd met strooisel, 44% met ruwvoer en 40% met krachtvoer.



**Figuur 17** Cumulatieve totale N-aanvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gesplitst in aanvoer met strooisel, ruwvoer en krachtvoer.

### N-vastlegging

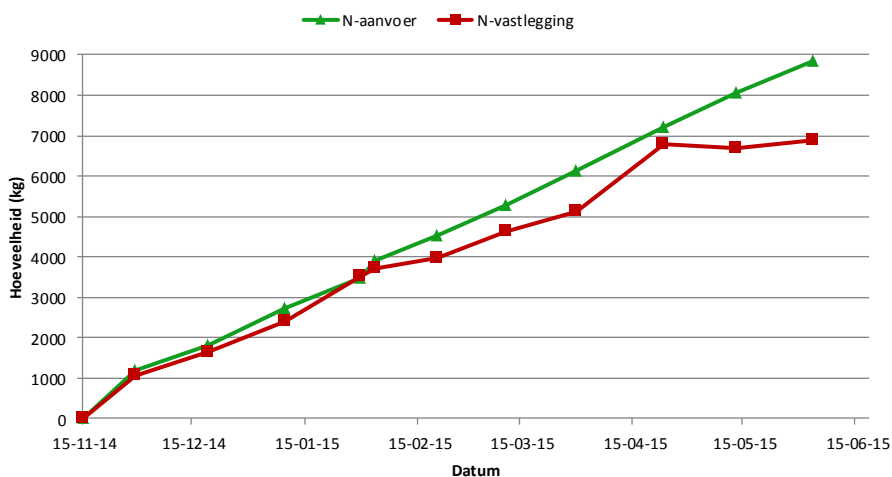
De cumulatieve totale N-vastlegging in de vrijloopstal tijdens de balansperiode was 6888 kg (Figuur 18) (Tabel 10). Hiervan werd 31% vastgelegd in drijfmest, 41% in bedding en 28% in melk.



**Figuur 18** Cumulatieve totale N-vastlegging in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gesplitst in vastlegging in drijfmest, bedding en melk.

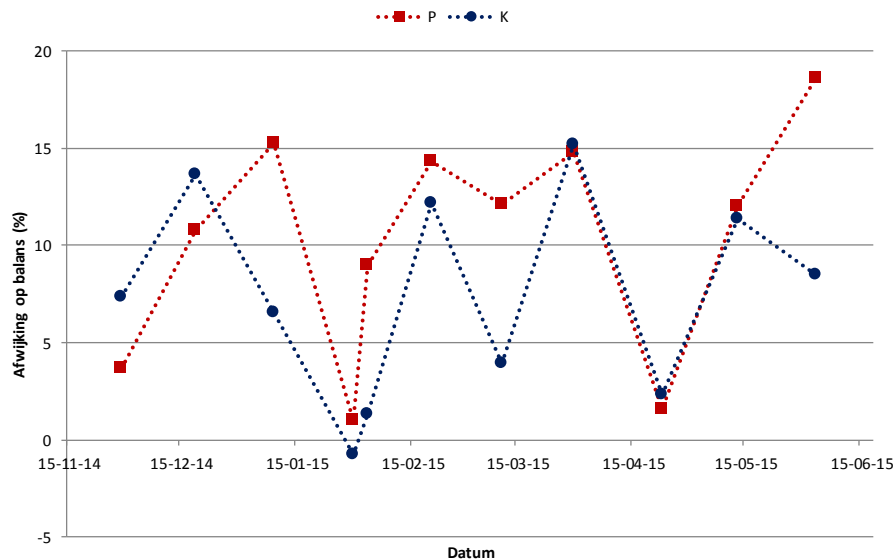
#### Ongecorrigeerde NPK-balans

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 19.



**Figuur 19** Ongecorrigeerde cumulatieve N-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

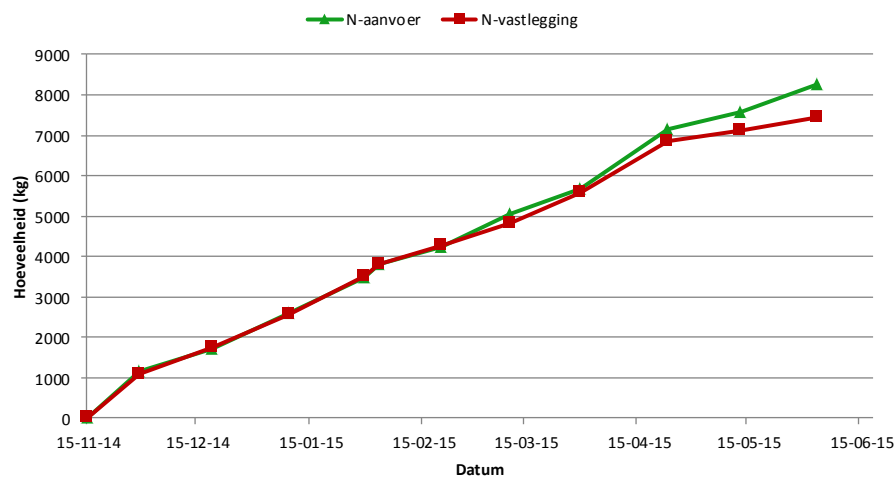
Het verschil tussen aanvoer en vastlegging op de P-balans varieerde tussen de 1 en 19% (Figuur 20, Tabel 11). Het verschil tussen aanvoer en vastlegging op de K-balans varieerde tussen -1% en 15% (Figuur 20, Tabel 12). Lineaire regressie (Genstat, 17<sup>e</sup> editie) liet geen significante relaties zien tussen de ontwikkeling van de afwijking op de P-balans en de tijd ( $P = 0,30$ ) en de ontwikkeling van de afwijking op de K-balans en de tijd ( $P = 0,80$ ).



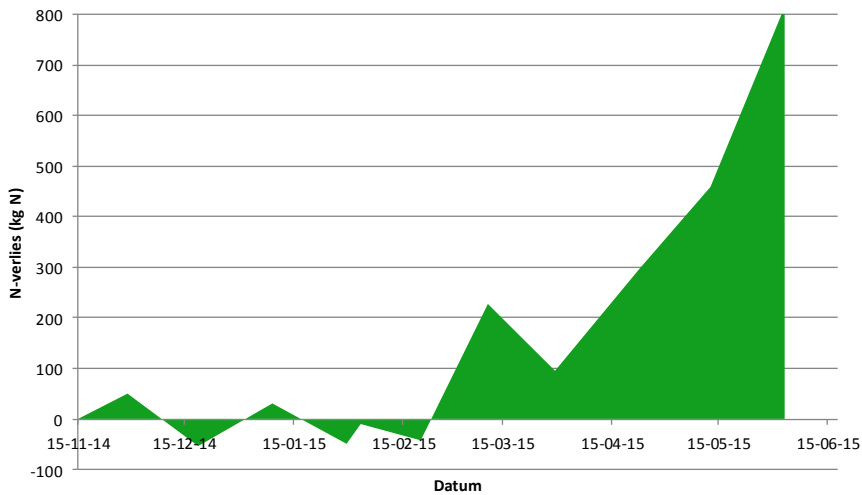
**Figuur 20** Afwijkingen op de cumulatieve PK-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

#### Gecorrigeerde NPK-balans en N-verlies

De gecorrigeerde cumulatieve NPK-balansen zijn per meetmoment gegeven in Tabel 13, Tabel 14 en Tabel 15 (Bijlage 1). De ontwikkeling van de gecorrigeerde cumulatieve N-balans over de tijd is ook gegeven in Figuur 21. Het cumulatieve N-verlies nam toe van 50 kg N bij het eerste balansmoment (tweede meetmoment) tot 815 kg N aan het einde van de balansperiode (Figuur 22).

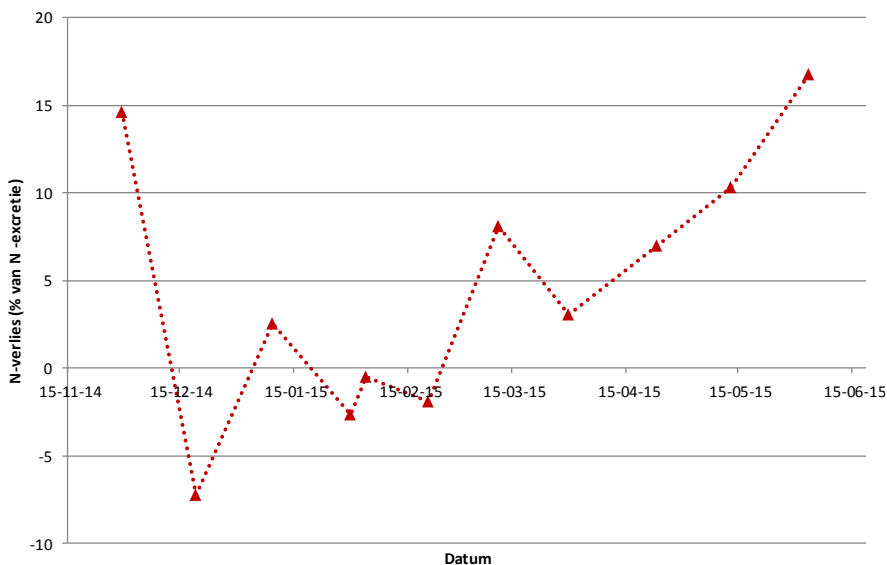


**Figuur 21** Gecorrigeerde cumulatieve N-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode.



**Figuur 22** Gecorrigeerd cumulatief N-verlies (kg N) uit de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

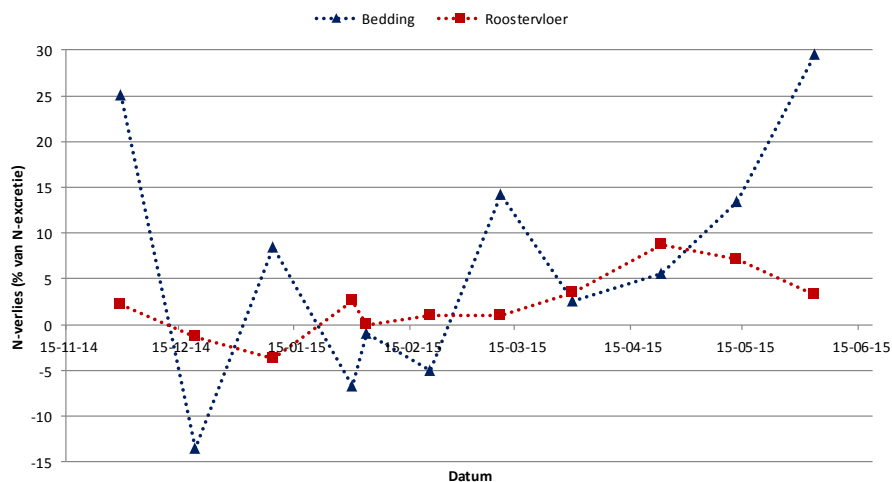
Het N-verlies uitgedrukt als percentage van de cumulatieve N-excretie in de stal nam toe van 15% op het eerste balansmoment tot 17% over de hele balansperiode (Figuur 23). Na een relatief groot N-verlies op het eerste balansmoment varieerde het N-verlies in de twee maanden daarna rond 0%. Uitgedrukt als percentage van de netto N-aanvoer op de stalvloer (strooisel + excretie) was het N-verlies over de hele balansperiode 13%. Per kg geproduceerde melk was het N-verlies over de hele balansperiode 2,3 g N.



**Figuur 23** Cumulatief N-verlies uit de vrijloopstal tijdens de balansperiode, uitgedrukt als percentage van de cumulatieve N-excretie in de stal.

Met de gecorrigeerde PK-balans (Tabel 14, Tabel 15) werd indicatief berekend dat tijdens de hele balansperiode 53% van de P-excretie en 51% van de K-excretie op de bedding kwam. Met behulp van de verdelingspercentages van de NPK-excretie over urine en feces van Gustafson (2000) (Tabel 1) werd indicatief berekend dat over de hele balansperiode 53% van de feces en 50% van de urine op de bedding werd uitgescheiden. Daarmee kwam indicatief 51% van de totale N-excretie op de bedding en de overige 49% op de roostervloer. Uit de indicatieve (grove) splitsing van het N-verlies over bedding en roostervloer blijkt dat het meeste N-verlies over de balansperiode op de bedding werd gerealiseerd (Figuur 24). De berekende verliespercentages waren voor de roostervloer nogal variabel en stabiliseerden niet duidelijk naar het einde van de balansperiode, zoals dit bij eerder berekende cumulatieve balansen wel het geval was (De Boer, 2015ab).





**Figuur 24** *Indicatieve splitsing van het cumulatieve N-verlies uit de vrijloopstal tussen bedding en roostervloer.*

Het N-verlies uit de stal en vanaf het land (indicatief) was voor vrijloopstal Langenkamp over de hele balansperiode 21% van de N-excretie in de stal (Tabel 8). Dit was wat hoger dan het totale N-verlies van 19% voor de referentie ligboxenstal. Het indicatieve N-verlies uit de stal en vanaf het land was over de hele balansperiode voor de bedding (29%) hoger dan voor de roostervloer (13%).

**Tabel 8**

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

Parameter	Bedding	Roostervloer	Totaal
N-excretie in stal (kg)	2504	2367	4870
N-verlies uit stal (kg)	739	77	815
N-verlies op land (kg)	0	219	219
Totaal N-verlies stal + land (kg)	739	296	1035
Totaal N-verlies stal + land (% van N-excretie)	29,5	12,5	21,2

---

## 4 Discussie

### 4.1 Effect afwijkingen PK-balans op N-verlies

De afwijkingen op de PK-balans 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 de PK-balans varieerden tijdens de balansperiode rond hetzelfde niveau (Figuur 20), terwijl eerder verwacht zou worden dat deze afwijkingen over de balansperiode afnemen. Immers, als er langer gemeten wordt en de berekeningen op meer gegevens gebaseerd zijn, kunnen absolute afwijkingen relatief kleiner worden en gaan uitmiddelen. Dat dit niet gebeurd is, wordt mogelijk verklaard door een relatief grote variatie in het beddingmanagement tijdens de balansperiode. Het niveau van onnauwkeurigheid van de metingen was aan het einde van de balansperiode nog relatief hoog, maar wel binnen de range van afwijkingen op eerder berekende balansen (De Boer 2015ab; Galama et al., 2015) en acceptabel. Wat opvalt aan de afwijkingen op de individuele balansposten is dat vooral het verloop van de vastlegging van NPK in de bedding later tijdens de balansperiode nogal variabel was (Figuur 15); dit was waarschijnlijk ook een belangrijke oorzaak van de afwijkingen op de balans.

### 4.2 Niveau N-verlies vrijloopstal Langenkamp

Het N-verlies uit vrijloopstal Langenkamp tijdens de balansperiode 2014/2015 was met 17% van de N-excretie relatief laag vergeleken met andere vrijloopstallen met compostering van houtsnippers, maar hoger dan het verlies van vrijloopstal Wiersma tijdens balansperiode 2013/2014 (Tabel 9). Het N-verlies uitgedrukt per kg geproduceerde melk was voor vrijloopstal Langenkamp vergelijkbaar met dat van vrijloopstal Wiersma in 2013/2014. Het is van belang te vermelden dat bij vrijloopstal Wiersma er een relatief laag deel van de totale N-excretie (37%) op de bedding terecht kwam; bij vrijloopstal Langenkamp was dit deel beduidend hoger (51%). Hierdoor was de N-belasting van de bedding bij vrijloopstal Langenkamp hoger, waardoor het risico op N-verlies toeneemt, evenals het belang van consistent en effectief beddingmanagement. Het niveau van N-verlies gemeten in vrijloopstal Langenkamp bevestigt het eerdere beeld dat bij intensieve compostering van houtsnippers het N-verlies lager is dan bij een meer extensieve manier van composteren (De Boer, 2015ab). Het hogere N-verlies als percentage van de N-excretie bij Langenkamp vergeleken met Wiersma werd waarschijnlijk vooral veroorzaakt doordat het composteringsproces bij vrijloopstal Langenkamp minder goed verliep dan eerder bij vrijloopstal Wiersma; de bedding was vaak nat en de temperatuur lager dan gewenst. Mogelijke oorzaken hiervoor waren een te lage/onregelmatige aanvoer van nieuwe houtsnippers, een minder diepe/intensieve bewerking van de bedding en verdichting onder in de bedding (mogelijk vanwege het gebruik van te fijne houtsnippers). Daarnaast gaven observaties bij bedrijfsbezoeken de indruk dat de stalventilatie niet optimaal was. Hierdoor kan de bedding sneller nat worden, waardoor het composteringsproces geremd wordt en het N-verlies kan toenemen.

Het N-verlies uit vrijloopstal Langenkamp was met 17% van de N-excretie hoger dan het verlies van 11% uit de referentie ligboxenstal. Dit werd veroorzaakt door een hoog verlies van de bedding (Figuur 24). Inclusief het indicatief berekende N-verlies na uitrijden van de mest op het land was het N-verlies van vrijloopstal Langenkamp (21%) maar weinig hoger dan van de referentie ligboxenstal (19%) (Tabel 8).

Tabel 9

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

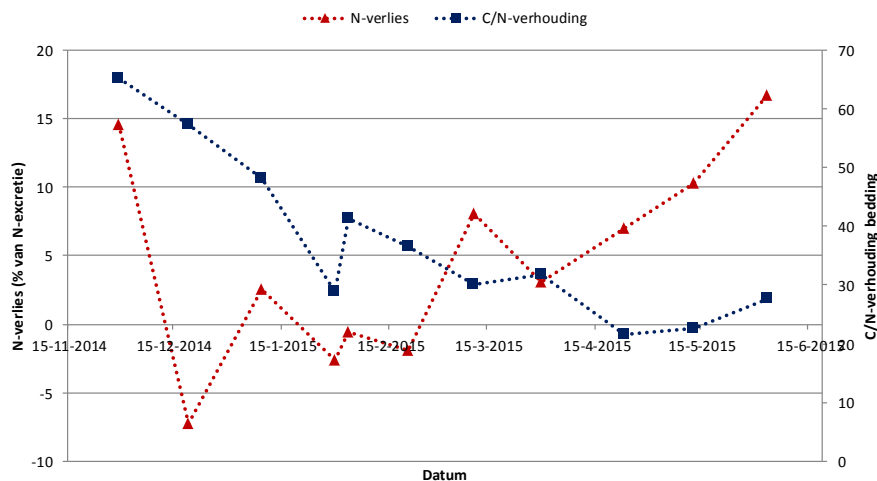
Vrijloopstal	Strooisel	Management	N-verlies	
			% van N-excretie	g N kg <sup>-1</sup> melk
Langenkamp 2014/2015 <sup>1)</sup>	Houtsnippers	Intensieve compostering	16,7	2,3
Wiersma 2013/2014 <sup>2)</sup>	Houtsnippers	Intensieve compostering	8,7	2,5
Hartman 2013/2014 <sup>3)</sup>	Grof hout	Extensieve compostering	39,0	6,4
(Wiersma) Nr. 1 <sup>4)</sup>	Houtsnippers	Intensieve compostering	19,0	3,1
Nr. 3 <sup>4)</sup>	Grof hout	Extensieve compostering	34,9	5,0
(Hartman) Nr. 4 <sup>4)</sup>	Grof hout	Extensieve compostering	39,9	5,8
Nr. 5 <sup>4)5)</sup>	Houtsnippers	Bewerken	39,6	8,1
Nr. 8 <sup>4)5)</sup>	GFT-compost	Bijstrooien/bewerken	43,9	13,5
Nr. 9 <sup>4)5)</sup>	GFT-compost	Bijstrooien/bewerken	63,0	7,9

<sup>1)</sup> dit rapport; <sup>2)</sup> De Boer (2015a); <sup>3)</sup> De Boer (2015b); <sup>4)</sup> Galama et al. (2015), gecodeerde stallen; <sup>5)</sup> geen beluchting

### 4.3 Relatie N-verlies met C/N-verhouding bedding

Het hoofddoel van compostering was vochtverdamping. Een ander doel was om de met mest uitgescheiden N in bacteriële biomassa vast te leggen en daardoor N-vervluchtiging te verminderen. Het hierbij nagestreefde mechanisme is dat de bacteriën (en andere micro-organismen) de C-verbindingen in houtsnippers afbreken, groeien op de energie die hierbij vrijkomt 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.

Met de aanvoer van een grote hoeveelheid houtsnippers aan het begin van de balansperiode werd een grote voorraad potentieel beschikbare energie aangevoerd. Tegelijk was er weinig N in de bedding aanwezig. Het N-gehalte van het hout zelf was laag (Tabel 2) en er werd in verhouding tot de beschikbare energie uit de houtsnippers ook weinig N met mest aangevoerd. In deze situatie wordt verwacht dat het N-verlies laag zal zijn. Toch was op het eerste balansmoment (tweede meetpunt) het N-verlies relatief hoog (Figuur 23). Een mogelijke oorzaak hiervoor is een relatief groot effect van meetfouten bij deze nog erg korte balansperiode. Een andere mogelijke oorzaak is dat de compostering in deze korte periode nog onvoldoende op gang gekomen was, mogelijk omdat een deel van de gebruikte houtsnippers uit een relatief harde houtsoort bestond (gerooid boomgaarden, o.a. kersenhout) en de houtsnippers, vergeleken met de eerdere balans van Wiersma, weinig tot geen groen materiaal bevatten. Na het tweede meetpunt varieerde het N-verlies voor een periode van twee maanden rond 0%. Het cumulatieve N-verlies was op drie meetpunten negatief, evenals over de eerste drie maanden van de balansperiode (-2%). Het negatieve N-verlies wordt veroorzaakt doordat het N-tekort zo groot is, dat er netto N uit de omgevingslucht wordt opgenomen. N kan uit de omgevingslucht worden opgenomen als NH<sub>3</sub> (Beck et al., 1997; Csehi, 1997) of als N<sub>2</sub>, waarbij N<sub>2</sub> wordt gebonden door vrijlevende N<sub>2</sub>-fixerende bacteriën (De Boer, 2015a). Na drie maanden ontstond er een cumulatief N-verlies, dat tijdens de rest van de balansperiode steeds verder opliep. Dit verlies ontstaat omdat door verdergaande afbraak van houtsnippers en de continue toevoeging van N met mest het relatieve N-tekort steeds verder afneemt, en er een overschot aan opneembare N ontstaat, dat verloren kan gaan door vervluchtiging. Door regelmatige toevoeging van verse, goed afbreekbare houtsnippers kan de relatieve N-beschikbaarheid verlaagd worden en daarmee ook het niveau van N-verlies (De Boer, 2015a). Wanneer de C/N-verhouding van de bedding wordt afgezet tegen het N-verlies, dan wordt het bovenstaande mechanisme in grote lijnen bevestigd (Figuur 25).



**Figuur 25** Verloop van het cumulatieve N-verlies en de C/N-verhouding van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode.

Lineaire regressie (Genstat, 17<sup>e</sup> editie) gaf in eerste instantie geen significante relatie ( $P = 0,60$ ) tussen het cumulatieve N-verlies en de C/N-verhouding van de bedding. Na het buiten beschouwing laten van de afwijkende meetwaarde van 19 november (zie boven) was er wel sprake van een significante relatie ( $P = 0,03$ ). Deze werd beschreven als:

$$\text{N-verlies vrijloopstal (\% van N-excretie)} = 18,20 - 0,424 * \text{C/N-verhouding} \quad (P = 0,03; R^2_{\text{adj.}} = 40\%)$$

Deze relatie verklaarde aanzienlijk minder variantie ( $R^2_{\text{adj.}} = 40\%$ ) dan de eerder gevonden relatie voor vrijloopstal Wiersma ( $R^2_{\text{adj.}} = 87\%$ ). Dit wordt verklaard door de relatief grote invloed van andere factoren, die het gevolg geweest kunnen zijn van de relatief grote variaties in beddingmanagement en de vaak natte bedding. De relatie suggereert dat bij een C/N-verhouding hoger dan 42 er netto N uit de omgevingslucht werd vastgelegd. Dit omslagpunt was hoger dan eerder bij vrijloopstal Wiersma in 2013/2014 ( $C/N = 34$ ), op hetzelfde niveau als eerder gevonden bij compostering door Schuchardt (1990, referentie in Beck et al. (1997)) ( $C/N = 41$ ) en lager dan het omslagpunt gevonden door Csehi (1997) ( $C/N = 55$ ).

Het N-verlies van vrijloopstal Langenkamp kan waarschijnlijk verlaagd worden door aanpassing van het beddingmanagement. Aandachtspunten hierbij zijn het gebruik van goed afbreekbare houtsnippers bij start van de bedding, een regelmatige aanvoer van nieuwe houtsnippers (om voldoende energie in de bewerkte laag te houden en voldoende N te kunnen binden), het aanhouden van een voldoende hoge onbewerkte onderlaag tijdens de winterperiode (om de beluchting onderin de bedding beter te verdelen) en om dieper te frezen (25 tot 30 cm) (De Boer et al., 2015). Daarnaast kan het N-verlies mogelijk ook verlaagd worden door extra aandacht te besteden aan de stalventilatie; deze werd mogelijk gehinderd doordat de vrijloopstal aan de linkerkant (rechterkant in de plattegrond, Figuur 1) tamelijk dicht tegen andere gebouwen aanlag. Een indicatie daarvoor was dat de koeien soms langere tijd bij voorkeur allemaal aan de (open) achterkant van de stal (onderkant van de plattegrond) gingen liggen, mogelijk omdat de lucht daar verser was.

---

# Conclusies

- Vrijloopstal Langenkamp had tijdens een balansperiode van ruim zes maanden (inclusief winterperiode) een N-verlies door vervluchtiging uit de stal van 17% van de N-excretie. Dit verlies was hoger dan voor een eerdere stal met hetzelfde composteringsprincipe, maar lag duidelijk aan de onderkant van het N-verlies gerealiseerd in andere vrijloopstallen. Wel was het verlies uit de stal duidelijk hoger dan het verlies uit een referentie ligboxenstal (11%). Na een relatief groot N-verlies tijdens de eerste twee weken van de balansperiode varieerde het N-verlies in de twee maanden daarna rond 0%
- Inclusief de indicatieve N-vervluchtiging tijdens en na toediening van drijfmest en gecomposteerde bedding op het land was de totale N-vervluchtiging uit vrijloopstal Langenkamp 21% van de N-excretie, weinig hoger vergeleken met 19% uit de referentie ligboxenstal
- Een indicatieve (grove) splitsing van het N-verlies tussen bedding en roostervloer gaf een N-verlies van 29% van de N-excretie op de bedding en 3% van de N-excretie op de roostervloer. De bedding leverde daarmee over de hele balansperiode de grootste bijdrage aan het N-verlies uit de stal
- Er was tijdens de balansperiode, na uitsluiting van het eerste meetpunt, sprake van een significante relatie ( $P = 0,03$ ;  $R^2_{\text{adj.}} = 40\%$ ) tussen het cumulatieve N-verlies uit de stal en de C/N-verhouding van de bedding. De lage verklaarde variantie van 40% werd veroorzaakt doordat andere factoren dan het proces van N-binding door compostering een relatief grote invloed hadden op het uiteindelijke N-verlies.
- De doelstelling om tijdens de compostering een groot deel van de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa werd in redelijke mate gerealiseerd. Een hogere N-binding en daardoor minder N-verlies hadden waarschijnlijk gerealiseerd kunnen worden door eerder & meer nieuwe houtsnippers bij te strooien, een stabiele onderlaag van 25 tot 30 cm over de winterperiode te handhaven, dieper te frezen (25 tot 30 cm) en mogelijk door de stalventilatie te optimaliseren
- De resultaten van vrijloopstal Langenkamp bevestigen het eerdere beeld dat stallen met intensieve compostering van houtsnippers de potentie hebben om een laag N-verlies te realiseren, en dat intensief composteren tot lager N-verlies leidt dan extensief composteren.



---

# 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, Duitsland.
- De Boer, H.C. 2014. 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. 2015a. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Ottema-Wiersma in 2013/2014. Livestock Research Rapport 881, Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, Nederland.
- De Boer, H.C. 2015b. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Hartman in 2013/2014. Livestock Research Rapport 885, Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, Nederland.
- De Boer, H.C., Wiersma, M., Galama, P.J., Szántó, G. 2015c. Vrijloopstal met composterende bedding van houtsnippers - Management bedding. V-focus Augustus 2015, p. 31-32, AgriMedia, Wageningen.
- Galama, P.J., De Boer, H.C., Van Dooren, H.J.C., Ouweltjes, W., Driehuis, F. 2015. Sustainability aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands. Livestock Research Report 873, Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, Nederland.
- 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.
- 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.
- 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 per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg N.*

Balanspost	Datum											
	2014 15-11	29-11	19-12	2015 09-01	30-01	03-02	20-02	11-03	30-03	23-04	13-05	03-06
Aanvoer met houtsnippers	0	733	733	941	941	1233	1233	1233	1335	1385	1385	1385
Aanvoer met ruwvoer	0	264	643	1044	1433	1508	1845	2251	2637	3088	3479	3926
Aanvoer met krachtvoer	0	188	437	750	1098	1163	1456	1793	2168	2743	3183	3548
Vastgelegd in melk	0	95	255	452	652	693	833	1025	1223	1487	1714	1941
Vastgelegd in bedding	0	828	1027	1371	2061	2169	2111	2378	2478	3607	3065	2829
Vastgelegd in drijfmest	0	148	360	583	805	848	1028	1229	1430	1685	1897	2119
Totaal aangevoerd	0	1185	1813	2735	3472	3903	4533	5277	6140	7217	8048	8860
Totaal vastgelegd	0	1071	1642	2405	3518	3710	3972	4632	5131	6779	6676	6888
Verlies	0	114	171	330	-46	194	562	645	1008	437	1372	1972

Tabel 11

Ongecorrigeerde P-balans van de vrijloopstal, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg P.

Balanspost	Datum											
	2014 15-11	29-11	19-12	2015								
			09-01	30-01	03-02	20-02	11-03	30-03	23-04	13-05	03-06	
Aanvoer met houtsnippers	0	84	84	107	107	132	132	132	147	151	151	151
Aanvoer met ruwvoer	0	46	109	175	239	252	307	375	443	524	596	673
Aanvoer met krachtvoer	0	28	65	106	149	157	192	232	276	345	399	443
Vastgelegd in melk	0	17	45	81	118	125	151	186	223	271	313	355
Vastgelegd in bedding	0	118	142	177	274	264	265	314	340	529	465	418
Vastgelegd in drijfmest	0	18	44	71	98	103	125	150	174	205	231	258
Totaal aangevoerd	0	159	259	388	495	541	632	739	865	1021	1147	1267
Totaal vastgelegd	0	153	231	329	490	492	541	650	737	1005	1009	1031
Verlies	0	6	28	59	5	49	91	90	128	16	138	236

Tabel 12

Ongecorrigeerde K-balans van de vrijloopstal, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg K.

Balanspost	Datum											
	2014 15-11	29-11	19-12	2015								
			09-01	30-01	03-02	20-02	11-03	30-03	23-04	13-05	03-06	
Aanvoer met houtsnippers	0	400	400	534	534	683	683	683	752	778	778	778
Aanvoer met ruwvoer	0	348	836	1352	1855	1952	2389	2914	3373	3928	4414	4999
Aanvoer met krachtvoer	0	66	155	267	392	415	521	643	773	964	1115	1244
Vastgelegd in melk	0	27	72	130	189	201	242	298	356	434	501	568
Vastgelegd in bedding	0	551	699	1187	1653	1799	1688	2311	2091	3092	2826	3326
Vastgelegd in drijfmest	0	177	430	695	961	1011	1226	1466	1707	2010	2263	2528
Totaal aangevoerd	0	814	1392	2152	2781	3050	3593	4240	4898	5669	6307	7021
Totaal vastgelegd	0	754	1201	2012	2802	3011	3156	4075	4154	5536	5589	6423
Verlies	0	60	190	141	-21	39	437	165	744	133	718	598

Tabel 13

Gecorrigeerde N-balans van de vrijloopstal, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg N.

Balanspost	Datum											
	2014 15-11	29-11	19-12	2015								
			09-01	30-01	03-02	20-02	11-03	30-03	23-04	13-05	03-06	
Aanvoer met houtsnippers	0	712	688	890	940	1201	1151	1184	1234	1372	1304	1291
Aanvoer met ruwvoer	0	257	604	987	1433	1469	1723	2161	2439	3057	3276	3660
Aanvoer met krachtvoer	0	183	411	709	1097	1133	1359	1721	2005	2716	2997	3307
Vastgelegd in melk	0	98	273	480	652	712	897	1071	1331	1502	1828	2097
Vastgelegd in bedding	0	852	1098	1457	2062	2230	2272	2484	2697	3644	3268	3057
Vastgelegd in drijfmest	0	153	385	619	806	871	1106	1284	1557	1702	2022	2290
Totaal aangevoerd	0	1152	1702	2586	3470	3803	4233	5066	5679	7145	7577	8259
Totaal vastgelegd	0	1102	1756	2555	3520	3813	4275	4838	5584	6848	7118	7443
Verlies	0	50	-54	31	-49	-10	-42	228	95	298	459	815

Tabel 14

Gecorrigeerde P-balans van de vrijloopstal, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg P.

Balanspost	Datum											
	2014 15-11	29-11	19-12	2015								
			09-01	30-01	03-02	20-02	11-03	30-03	23-04	13-05	03-06	
Aanvoer met houtsnippers	0	83	80	99	106	126	123	124	136	150	142	137
Aanvoer met ruwvoer	0	45	103	162	238	240	285	352	410	520	561	610
Aanvoer met krachtvoer	0	28	62	98	148	150	179	218	256	343	375	402
Vastgelegd in melk	0	17	48	88	118	132	164	199	242	273	334	396
Vastgelegd in bedding	0	121	150	193	276	277	288	336	370	533	497	466
Vastgelegd in drijfmest	0	18	46	77	98	108	135	160	189	207	247	287
Totaal aangevoerd	0	156	245	358	492	516	587	695	801	1013	1078	1149
Totaal vastgelegd	0	156	245	358	492	516	587	695	801	1013	1078	1149
Verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 15

*Gecorrigeerde K-balans van de vrijloopstal, weergegeven per meetmoment tijdens de balansperiode, cumulatief in kg K.*

Balanspost	2014		2015										
	Datum	15-11	29-11	19-12	09-01	30-01	03-02	20-02	11-03	30-03	23-04	13-05	03-06
Aanvoer met houtsnippers		0	386	373	516	536	679	642	670	695	769	734	745
Aanvoer met ruwvoer		0	335	779	1308	1862	1939	2244	2858	3117	3881	4163	4786
Aanvoer met krachtvoer		0	64	145	258	394	413	489	630	714	952	1052	1191
Vastgelegd in melk		0	28	78	134	188	202	258	304	388	439	533	595
Vastgelegd in bedding		0	572	755	1228	1646	1811	1805	2358	2278	3129	3007	3481
Vastgelegd in drijfmest		0	184	464	720	957	1018	1311	1496	1859	2034	2408	2646
Totaal aangevoerd		0	784	1297	2082	2791	3031	3375	4158	4526	5602	5948	6722
Totaal vastgelegd		0	784	1297	2082	2791	3031	3375	4158	4526	5602	5948	6722
Verlies		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



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



Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch)

Livestock Research Rapport 936



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.