



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

Herman de Boer



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Hartman 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 885

De Boer, Herman, 2015. *Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Hartman in 2013/2014*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 885. 43 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 885

Inhoud

Inhoud	3
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	12
2.3.1 Gegevensverzameling door de melkveehouder	12
2.3.2 Gegevensverzameling bij een bedrijfsbezoek	12
2.4 Methodiek voor berekening NPK-balans en N-verlies uit de stal	13
2.5 Metingen en berekeningen per balanspost	15
2.5.1 NPK _{strooisel}	15
2.5.2 NPK _{ruwvoer}	15
2.5.3 NPK _{krachtvoer}	15
2.5.4 NPK _{drijfmest}	16
2.5.5 NPK _{bedding}	16
2.5.6 NPK _{melk}	18
2.5.7 NPK _{dieren}	18
3 Resultaten	19
3.1 Beddingeigenschappen	19
3.1.1 Beddingtemperatuur	19
3.1.2 Beddinghoogte	20
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 _{strooisel}	22
3.3.2 NPK _{ruwvoer}	23
3.3.3 NPK _{krachtvoer}	23
3.3.4 NPK _{drijfmest}	24
3.3.5 NPK _{bedding}	25
3.3.6 NPK _{melk}	28
3.3.7 NPK _{dieren}	28
3.4 NPK balans	28
3.4.1 N-aanvoer	28
3.4.2 N-vastlegging	29
3.4.3 NPK-balans	29
3.4.4 Gecorrigeerde N-balans en N-verlies	30
4 Discussie	33
4.1 Effect afwijkingen PK-balans op N-verlies	33
4.2 Niveau N-verlies vrijloopstal Hartman	33
4.3 Relatie N-verlies met C/N-verhouding bedding	34
Conclusies	37

Referenties	38
Bijlagen	40
Bijlage 1. NPK-balansen per meetmoment	40

Woord vooraf

Wij danken de familie Hartman voor het ter beschikking stellen van hun bedrijf, hun bedrijfsgegevens en het uitvoeren van de metingen; Klaas Blanken (Livestock Research) voor het uitvoeren van de bedrijfsbezoeken en het onderhouden van de contacten; Henk Dings (Agrifirm) voor het aanleveren van de rantsoensamenstellingen, dr. André Aarnink (Livestock Research) voor de review van dit rapport en prof. Peter Groot Koerkamp (Livestock Research, Departement Plantenwetenschappen WU) voor de review van de methodiek van balansberekening (De Boer, 2015b). 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 totale 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 totale N-verlies door vervluchtiging uit de vrijloopstal van de familie Hartman in Heibloem (Limburg). De vloer van deze stal bestond uit een deel organische bedding met geshredderd hout (liggedeelte) en een deel asfaltvloer (loopgedeelte). Het geshredderde hout werd extensief gecomposteerd bij een temperatuur tussen de 25 en 45°C. Tijdens de compostering werd er via de stalvloer lucht door de bedding gezogen. 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) 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 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 elf maanden. 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 hoeveelheden aangevoerd strooisel en het toegepaste beddingmanagement. De melkveehouder bepaalde ook iedere drie dagen de beddingtemperatuur en -hoogte. Ruwvoer- en krachtvoerrantsoenen werden overgenomen uit de voersoftware 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 hele balansperiode was 5780 kg N, 39% van de N-excretie met mest in de stal. Dit was vergelijkbaar met het verlies van een eerder berekende balans voor deze stal (40%) en aanzienlijk hoger dan het verlies uit een referentie ligboxenstal (11%). Een indicatieve splitsing gaf een N-verlies van 77% van de N-excretie op de bedding en 5% op de asfaltvloer. Daarmee werd over de balansperiode het laagste N-verlies op de asfaltvloer gerealiseerd. De C/N-verhouding van de bovenlaag van de bedding daalde als gevolg van compostering tijdens de balansperiode van ruim 30 naar 13, maar er kon geen verklaarbare relatie gelegd worden tussen deze daling en het N-verlies. De doelstelling om tijdens de compostering een groot deel van de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa werd niet gerealiseerd. Een oorzaak hiervoor was waarschijnlijk de grofheid van het geshredderde hout, waardoor dit te langzaam afbrak om voldoende bacteriegroei te realiseren. Een relatief lage aanvoer van nieuw strooisel (= composteringsenergie), een weinig intensieve menging van de toplaag door spitten, en het niet of nauwelijks mengen van de onderlaag, hebben waarschijnlijk ook bijgedragen aan het hoge N-verlies. N uit mest die in de onderlaag terecht kwam is waarschijnlijk geheel vervluchtigd. De N-vervluchtiging uit vrijloopstal Hartman, inclusief de indicatieve vervluchtiging na toediening van drijfmest en compost op het land, was 44% van de N-excretie in de stal, vergeleken met 19% uit de referentie ligboxenstal. Geconcludeerd werd dat extensief/rustig composteren, een combinatie van

composteren bij relatief lage temperatuur, een weinig intensieve bewerking/menging van de bedding en het gebruik van oudere en grovere houtdelen als beddingmateriaal, niet geschikt lijkt om het N-verlies van een 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 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 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 het management van de bedding. Daardoor kunnen er grote verschillen zijn in N-verlies tussen vrijloopstallen (De Boer, 2015a). Het onderzoek in dit rapport richtte zich op het vaststellen van het N-verlies door vervluchtiging uit de vrijloopstal van de familie Hartman in Heibloem (Limburg). De vloer van deze stal bestond uit een deel organische bedding met geshredderd hout (liggedeelte) en een deel asfaltvloer (loopgedeelte). Het geshredderde hout werd gecomposteerd bij een temperatuur van 25 tot 45°C. Tijdens de compostering werd er via de stalvloer lucht door de bedding gezogen. 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 nevendoel 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) 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 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 11 maanden (inclusief winterperiode).

2 Materiaal & methoden

2.1 Beschrijving stal en stalvloer

Bij vrijloopstal Hartman bestond het overgrote deel van het vloeroppervlak uit bedding (1500 m²) omgeven door een smalle strook gietasfalt (370 m²) achter het voerhek en voor het melkgedeelte (Foto 1). In de stal waren alleen melkgevende koeien gehuisvest. De stal had geen drijfmestkelder; de mest die uitgescheiden werd op het gietasfalt werd enkele keren per dag met een geautomatiseerde mestschuif afgeschoven in een tijdelijke opvangput (47 m²) en iedere paar dagen overgepompt naar de drijfmestkelder van de naastgelegen oude stal. In de zomer werd het gietasfalt regelmatig met water bevochtigd om aanroeken van mest te voorkomen. In de opvangput werd ook spoelwater van de mestrobots en afvalwater van de ontvangstruimte opgevangen. Tijdens het onderzoek bleven de koeien op stal en werd er geen weidegang toegepast. Het doel hiervan was om complicaties bij de berekening van de balansen te minimaliseren.

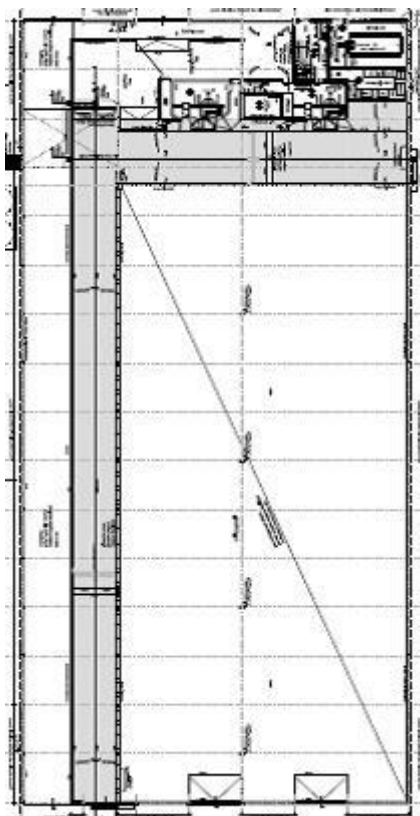


Foto 1 *Plattegrond van vrijloopstal Hartman, met rechtsonder de vrijloopbedding (wit), links daarvan een strook gietasfalt (lichtgrijs) met daarnaast de voergang (wit), boven de bedding ook gietasfalt met daarboven het melkgedeelte + kantoor*

De vloer onder de vrijloopbedding bestond uit gestort beton met daarin beluchtingsbuizen. De beluchtingsbuizen lagen in de lengterichting van de stal, op een onderlinge afstand van 1,5 m, met beluchtingsgaatjes in de buizen op een onderlinge afstand van 1 m. Dit gaf gemiddeld één beluchtingsgaatje per 1,5 m². Lucht werd met een centrale ventilator via de beluchtingsgaatjes door de bedding gezogen.

2.2 Beddingmanagement

De beoogde composteringmethode bij vrijloopstal Hartman bestond uit gebruik van (geschredderde) grovere/oudere houtdelen als beddingmateriaal, compostering bij relatief lage temperatuur, dagelijks spitten van de bovenste 25 cm van de bedding, en mechanische beluchting door buitenlucht via de vloer door de bedding heen te zuigen. Het doel was om relatief langzaam te composteren, om zo het houtsnipperverbruik en N-verlies laag te houden. De bedding werd gecomposteerd met een richttemperatuur van 32°C in de zomer en 35°C in de winter. 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 nevendoeel was om tijdens de compostering de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa en daarmee het N-verlies door vervluchtiging te verminderen. Gekozen werd voor grovere houtdelen (Foto 2, Foto 3), omdat de energie (tijdens afbraak van C-verbindingen) hieruit langzamer beschikbaar komt. Het composteringsproces startte met de aanvoer van een nieuwe laag geschredderd hout op een al aanwezige onderlaag van grover geschredderd hout. Deze onderlaag was vooral bedoeld om de lucht in de bedding zo goed mogelijk te verdelen. In dit rapport wordt de term 'onderlaag' gebruikt voor de onderste 25 cm bedding met grof geschredderd hout en de term 'bovenlaag' voor de bovenste 35 tot 45 cm bedding met fijner geschredderd hout.



Foto 2 Voorbeeld van geschredderde hout, fijn (links) en grover (rechts)



Foto 3 Bovenaanzicht van de toplaag van de bedding in de vrijloopstal

De bedding werd niet gefreesd, zoals bij een aantal andere vrijloopstallen met compostering van houtsnippers, maar gespit. Spitten in plaats van frezen was ook bedoeld om het composteringsproces langzamer te laten verlopen. Frezen geeft een meer intensieve menging van de bedding en verkleining van houtdelen, waardoor de compostering gestimuleerd wordt. De bedding werd automatisch mechanisch belucht wanneer de temperatuur onderin de bedding hoger werd dan 32°C (zomer) of 35°C (winter). De temperatuur werd gemeten met een sensor in de vloer die via een computer gekoppeld was aan de ventilator. Tijdens de balansperiode werd er per uur gemiddeld een half uur lucht gezogen met een capaciteit van 3100 m³ uur⁻¹. Door beluchting wordt zuurstof in de bedding gebracht en waterdamp uit de bedding gezogen. Beluchting kan daarnaast ook gebruikt worden om de bedding af te koelen als de temperatuur te hoog wordt. Bij het ontwerp van vrijloopstal Hartman was gekozen voor beluchting door lucht zuigen in plaats van blazen, met de gedachte dat hierdoor minder vervluchtiging van ammoniak uit de bedding optreedt, dat ammoniak in aangezogen stallucht door de bedding vastgelegd kan worden en dat ammoniak in uitgeblazen lucht op één centraal punt uit de stal komt en eventueel opgevangen kan worden. De bedding werd iedere dag gespit tot een diepte van 25 cm. Iedere paar weken werd er dieper gespit of gewoeld tot 40 cm, om het ontstaan van een verdichte laag op 25 cm te voorkomen of op te lossen. Bij een beddinghoogte van 70 cm betekent dit dat de laag van 0 tot 25 cm dagelijks gemengd werd, de laag van 25 tot 40 cm eens per paar weken, en de laag van 40 tot 70 cm niet. Tijdens de balansperiode werden enkele partijen geshredderd hout, houtsnippers en stro op de bedding gebracht, met als doel de toplaag droog te houden en nieuwe composteringsenergie aan te voeren.

2.3 Gegevensverzameling

De N-, P- en K-balans (afgekort NPK-balans) werd berekend voor de periode tussen 2 december 2013 en 22 oktober 2014. De balansperiode duurde daarmee bijna 11 maanden (324 dagen). Om de NPK-balans te berekenen en het composteringsproces te 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, 20, 40 en 60 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. 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 temperatuurmetingen startten op 18 december en regelmatige meting van de beddinghoogte op 11 februari.

De melkveehouder hield daarnaast de volgende gegevens bij:

- het aantal aanwezige dieren in de vrijloopstal
- het aangevoerde strooisel (type, hoeveelheid en datum)
- drijfmestpeil in de tijdelijke opvangput (meting twee tot drie dagen na bedrijfsbezoek)
- het dagelijkse 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. Dit was steeds dezelfde medewerker. Het eerste bedrijfsbezoek was op 2 december 2013 en het laatste op 22 oktober 2014. In totaal werd het bedrijf 19 keer bezocht. Bij ieder bedrijfsbezoek werden een aantal beddingeigenschappen gemeten en werd de bedding bemonsterd. Ook werd het drijfmestpeil in de opvangput gemeten en werd de aanwezige drijfmest bemonsterd. Daarnaast werden monsters genomen van tussentijds aangevoerde partijen strooisel. De

gevolgde methodiek bij de uitvoer van 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 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-balansen 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 toevallige en systematische 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 asfaltvloer en uit de tijdelijke opvangput. 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: $N_{\text{strooisel}} + N_{\text{excretie}}$. N_{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 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 asfaltvloer werd berekend als: $100\% - \% \text{ PK-excretie op bedding}$. De verdeling van N-excretie over bedding en asfaltvloer kon niet rechtstreeks worden berekend, omdat een deel van de N-excretie kon vervluchtigen en het percentage vervluchtiging kon verschillen tussen bedding en asfaltvloer. 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 Hartman; 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 asfaltvloer.

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 NH₃-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 Hartman 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 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, 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: $N_{\text{bedding}} * 0 + N_{\text{drijfmest}} * 0,096$.

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

2.5 Metingen en berekeningen per balanspost

2.5.1 NPK_{strooisel}

De hoeveelheid NPK in de bedding die al in de stal aanwezig was en de hoeveelheid die werd aangevoerd op startdatum 2 december werd bepaald als onderdeel van de beddingmeting tijdens het bedrijfsbezoek op 2 december (zie paragraaf 2.5.5). De hoeveelheid NPK die na 2 december in de vrijloopstal werd aangevoerd met strooisel werd berekend als: hoeveelheid aangevoerd strooisel * NPK-gehalte strooisel. Strooisel bestond bij vrijloopstal Hartman uit geshredderd hout, houtsnippers, een kleine partij stromest en stro (vanaf 12 augustus). De hoeveelheden geshredderd hout, houtsnippers en stro werden op basis van gewicht aangevoerd. De partij stromest werd omgerekend van volume naar gewicht door gebruik te maken van een geschatte bulkdichtheid van 0,45 kg L⁻¹. Monsters van nog aanwezige partijen strooisel of apart gehouden materiaal werden verzameld tijdens het bedrijfsbezoek op 30 december, 3 maart en 19 september. 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 met geshredderd hout/houtsnippers werd voor de partijen aangevoerd in de vrijloopstal op 21 januari en 14 februari berekend met de samenstelling van het monster van 30 december, voor de partij aangevoerd op 18 maart met de samenstelling van het monster van 3 maart en voor de partijen aangevoerd op 19 en 24 september met de samenstelling van het monster van 19 september. De NPK-aanvoer met stromest werd berekend met het NPK-gehalte van een eerder bemonsterde partij stromest bij vrijloopstal Hartman. De NPK-aanvoer met stro werd berekend met het NPK-gehalte van tarwestro uit de Veevoedertabel (CVB, 2011). Met de berekende aanvoer van hoeveelheid strooisel en NPK met strooisel per aanvoerdatum werd vervolgens de cumulatieve aanvoer van strooisel en NPK met strooisel 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: aantal aanwezige dieren * gemiddelde hoeveelheid gevoerd product per ruwvoersoort per dier per dag * NPK-gehalte 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, luzernekuil, grashooi en koolzaadstro. De gemiddelde gevoerde hoeveelheden per dier en de NPK-gehalten werden overgenomen uit het voermanagementprogramma. Een voorbeeld van deze invoer is gegeven in Figuur 1.

Voersoort	Kg	gemiddelde opname per dier	Per kg	Nutrient values																				
	kg/ds	VDN	DVP	OP	g ds	Na	Su	Zet	Rz	%DS	BCet	RE/P	EE/DIP	Ca (g)	Co/P	nP	P	Ro (g)	KPis	X (g)	Mg (g)	C (g)	I (g)	
hul rijnst 2012	20,50	7,4	7072	931	297	362	140	38	7	251	36	7	40,0	2,30	1,1	1,79	4,0	1,2	29,2	36,6	2,9	9,7		
maai 2012	21,28	7,9	7776	327	395	369	61	12	362	183	37	126	30,5	1,46	1,8	1,8	0,71	2,0	3,7	39,7	11,8	1,7	1,8	
Sho (Gerst)	0,60	8,5	268	0	-11	840	41	0	3	435	84	3	136,7	-194,52	1,7	5,7	-0,46	0,3	0,2	110,0	22,8	0,5	0,6	
Luzerne De snede	0,76	8,7	481	25	28	914	175	0	0	289	91	3	58,3	4,80	18,8	6,3	0,70	3,0	3,4	80,0	30,0	2,0	0,7	
Mato 36807 0	2,59	2,3	2408	490	75	990	330	123	131	89	90	11	85,1	1,50	1,8	1,7	3,15	4,6	3,3	95,4	14,1	2,4	0,3	
Oxyfl All in One vitale of	0,18	8,2	8	0	0	990	13	0	3	8	19	3	0,0	0,00	86,3	0,0	0,00	0,0	-01,8	0,0	1,5	75,8	135,6	
Totaal basisvoertoevo (7-11-114)	45,84	18,9	17908	1318	33	413	131	39	864	209	42	54	42,9	1,69	5,9	8,9	1,39	3,8	1,7	134,8	22,1	2,8	6,8	
Etikethoort																								
Soja Rendement	2,9	3127	352	96	960	195	73	201	99	90	79	69,7	1,19	7,4	1,6	3,00	4,8	3,3	2,9	5,7	5,6	5,1		
Soja 40 gemalen vervoerders	1,1	1332	287	232	881	513	103	3	67	88	4	2,0	76,33	3,2	0,5	6,07	6,8	5,1	202,0	22,9	3,6	0,2		
Totaal krachtvoer	4,0	4359	646	271	895	294	81	190	66	69	59	53,6	1,76	4,4	1,2	3,95	5,3	2,5	5,3	11,2	5,0	3,8		
Totaal ruwvoer	22,9	22347	1963	304	455	158	43	178	188	54	54	43,7	1,84	6,8	1,7	1,75	3,5	1,8	11,8	20,5	3,2	5,8		

Figuur 1 Voorbeeld van het ingevoerde ruw- en krachtvoerrantsoen in het voermanagementprogramma

2.5.3 NPK_{krachtvoer}

De hoeveelheid NPK die in de vrijloopstal werd aangevoerd met krachtvoer (mengvoer) en mineralenmengsels werd per dag berekend als: aantal aanwezige dieren * gemiddelde gevoerde

hoeveelheid product per mengvoersoort per dier per dag * NPK-gehalte per mengvoersoort. Met de NPK-aanvoer per dag werd vervolgens de cumulatieve NPK-aanvoer per meetmoment berekend voor de balansperiode. De gemiddelde gevoerde hoeveelheden product per dier en de NPK-gehalten werden overgenomen uit het voermanagementprogramma (Figuur 1).

2.5.4 $NPK_{\text{drijfmest}}$

De hoeveelheid NPK die tijdens de balansperiode in de vrijloopstal werd vastgelegd in geproduceerde drijfmest werd per dag berekend als: aantal aanwezige dieren * gemiddelde drijfmestproductie per dier per dag * NPK-gehalte drijfmest.

De drijfmestproductie per dier per dag werd per bedrijfsbezoek berekend. Tijdens het bedrijfsbezoek werd het drijfmestpeil in de opvangput gemeten en werden datum en tijd genoteerd. Twee tot drie dagen later werd deze meting door de melkveehouder herhaald. Tijdens deze meetperiode werd het dagelijkse aantal aanwezige dieren bijgehouden. Op basis van de toename van het mestpeil, de oppervlakte van de put, de verstreken tijd en het gemiddelde aantal aanwezige dieren tijdens de meetperiode, werd een gemiddelde drijfmestproductie in L per dier per dag berekend.

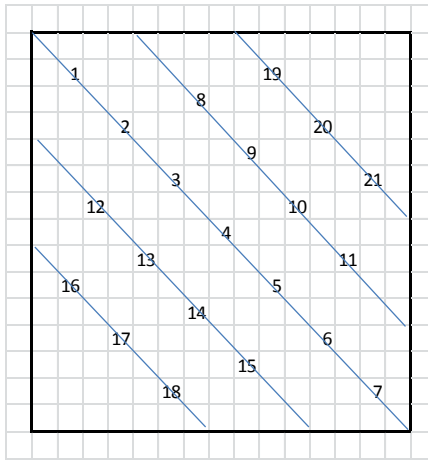
Meting van de drijfmestproductie in de opvangput startte bij het bedrijfsbezoek op 30 december. Tussen 30 december en 15 april ging er iets mis met de meting, waardoor de berekende drijfmestproducties een grote en onlogische variatie vertoonden. Bij de metingen na 15 april was de drijfmestproductie relatief stabiel. Daarom zijn alleen de gegevens vanaf 6 mei tot en met 22 oktober gebruikt. Met lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) werd de relatie tussen de berekende drijfmestproductie en de tijd (datumwaarden) geanalyseerd. Op basis van de resultaten werd de drijfmestproductie per dier per dag tijdens de balansperiode berekend in L.

Per twee meetmomenten werd de drijfmest in de opvangput op meerdere plaatsen bemonsterd met een multisampler (lengte 1,8 m; diameter 35 mm) (Eijkelpark, Giesbeek). Het verzamelmonster per meetmoment werd door het ETE-servicelaboratorium geanalyseerd op soortelijk gewicht, drogestof, as, totaal N, totaal P, totaal K en totaal C. Met lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) werd de relatie tussen het soortelijk gewicht en de tijd geanalyseerd, evenals de relatie tussen het NPK-gehalte en de tijd. Op basis van de resultaten en de drijfmestproductie per dier per dag werd vervolgens de NPK-productie per dier per dag berekend en vervolgens de cumulatieve NPK-productie met drijfmest per meetmoment voor de balansperiode.

2.5.5 NPK_{bedding}

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.

De totale beddinghoogte werd per bedrijfsbezoek gemeten op 21 plaatsen verdeeld over het beddingoppervlak en daarna gemiddeld (Figuur 2). De hoogte van de onderlaag werd gemeten op drie plaatsen op de diagonale lijn van de bedding (posities 2, 4 en 6 in Figuur 2) en gemiddeld. De bulkdichtheid van zowel de onderlaag als de bovenlaag werd eveneens gemeten op drie plaatsen op de diagonale lijn van de bedding. Op deze plaatsen werd een gat in de bedding gespit en het beddingmateriaal per laag verzameld en gemengd. De bulkdichtheid werd vervolgens bepaald door een emmer met een volume van 5 L te vullen met beddingmateriaal en dit stevig aan te drukken. Het gewicht werd vervolgens gedeeld door het volume. De bulkdichtheid werd per laag gemiddeld over de drie meetposities. 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 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. Bij alle metingen met gebruik van emmers werd gecorrigeerd voor het gewicht van de emmers.



Figuur 2 Meetpatroon voor bepaling van de gemiddelde beddinghoogte

Meting van de porositeit was niet nodig voor berekening van de balans maar bedoeld om meer inzicht te krijgen in het verloop van het composteringsproces. Daarvoor werd op de drie plaatsen op de diagonale lijn ook de deeltjesgrootte van de bovenlaag gemeten. 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 14 januari.

De bedding werd ieder bedrijfsbezoek per laag bemonsterd om de samenstelling te bepalen. Op de drie meetplaatsen 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, NH₄-N, NO₃-N en pH (in water).

De hoeveelheid bedding en de hoeveelheden NPK in de bedding werden in eerste instantie per laag per bedrijfsbezoek berekend. De laaghoogte, hoeveelheid bedding en NPK in de bedding waren voor de onderlaag erg variabel, waarschijnlijk vooral als gevolg van het beperkte aantal meetposities. Verondersteld werd dat de grove houtdelen in de onderlaag nauwelijks afbraken, waardoor mogelijk met een constante hoogte van de onderlaag gewerkt kon worden en een deel van de ruis bij het bepalen van de hoogte van de bovenlaag verwijderd kon worden. Uit lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) bleek er voor de onderlaag geen significante relatie te zijn tussen de laaghoogte en de tijd ($P = 0,44$) en de hoeveelheid bedding en de tijd ($P = 0,65$) ($\alpha = 0,05$). Daarom is er voor de balansperiode gebruik gemaakt van de gemiddelde hoogte van de onderlaag en de gemiddelde hoeveelheid bedding in de onderlaag (gemiddeld op basis van de resultaten van alle meetmomenten). Uit lineaire regressie bleek er geen relatie te zijn tussen het N-gehalte in de onderlaag en de tijd ($P = 0,21$), maar wel tussen het P-gehalte en de tijd ($P = 0,025$) en het K-gehalte en de tijd ($P = 0,001$). Er werd daarom voor de hele balansperiode gerekend met een gemiddelde hoeveelheid N in de onderlaag. Deze werd berekend als: gemiddelde hoeveelheid bedding * gemiddeld N-gehalte. De hoeveelheden P en K in de onderlaag werden per meetmoment berekend als: gemiddelde hoeveelheid bedding * PK-gehalte. De PK-gehalten per meetmoment werden berekend met de afgeleide lineaire relaties tussen PK-gehalte en de tijd (datumwaarde).

De hoogte van de bovenlaag werd berekend door van de totale beddinghoogte de gemiddelde hoogte van de onderlaag over de balansperiode af te trekken. Vervolgens werd de hoeveelheid bedding en NPK in de bovenlaag per meetmoment berekend als: hoogte bovenlaag * oppervlakte bedding * bulkdichtheid bovenlaag * NPK-gehalte bovenlaag. De hoeveelheid bedding en NPK in de hele bedding werd berekend door de hoeveelheden van de bovenlaag en onderlaag per meetmoment bij elkaar op te tellen.

2.5.6 NPK_{melk}

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 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⁻¹ melk (CBS, 2011). 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_{dieren}

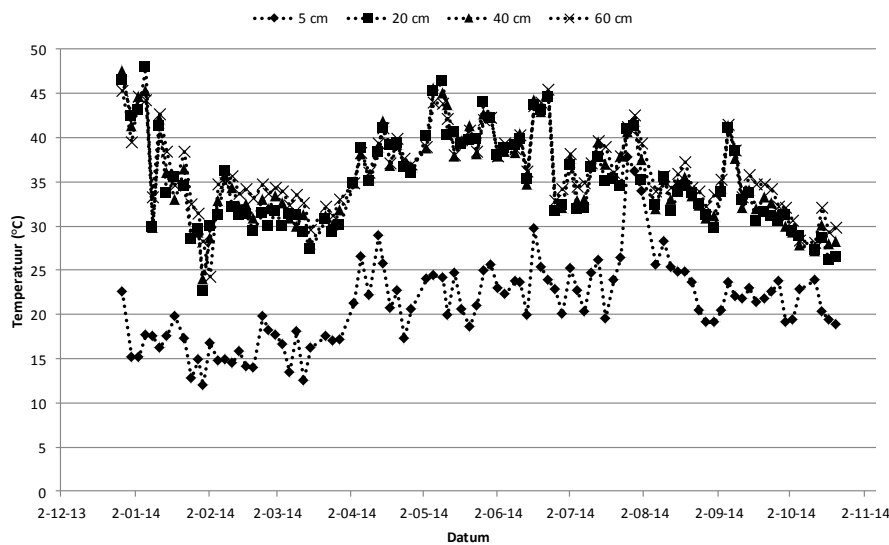
De veestapel in vrijloopstal Hartman bestond alleen uit melkgevende koeien. In volwassen, melkgevende koeien kan zowel sprake zijn van NPK-vastlegging als van NPK-mobilisatie. Dit is in de praktijk echter niet eenvoudig te meten. Verwacht mag worden dat er bij een normaal presterende veestapel geen sprake 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

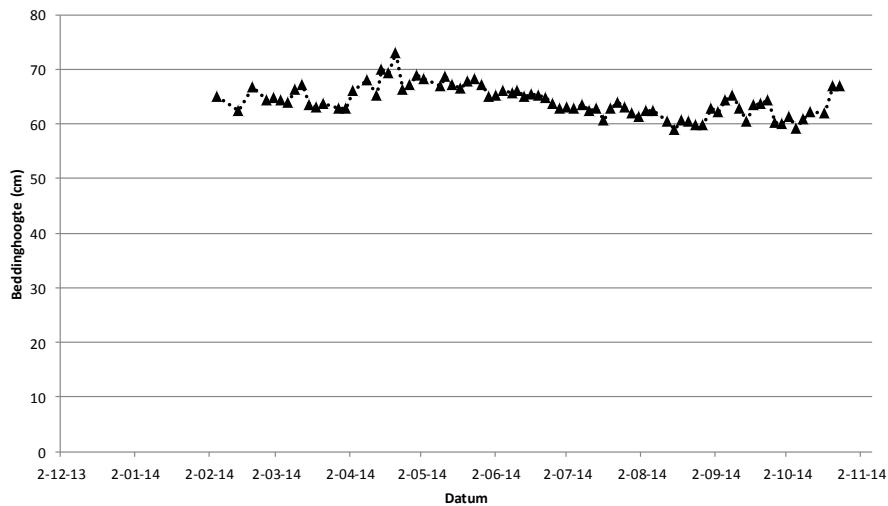
De beddingtemperatuur varieerde tijdens de balansperiode op 5 cm diepte tussen de 12 en 38°C, op 20 cm tussen de 23 en 48°C, op 40 cm tussen de 24 en 48°C en op 60 cm diepte tussen de 27 en 45°C (Figuur 3). De temperatuur op 5 cm diepte was altijd duidelijk lager dan dieper in de bedding vanwege het afkoelende effect van de omgevingstemperatuur. De temperatuurrange dieper in de bedding van 25 tot 45°C was groter dan de nagestreefde range van 32 tot 35°C.



Figuur 3 Ontwikkeling van de composteringstemperatuur in de bedding van de vrijloopstal tijdens de balansperiode op 5, 20, 40 en 60 cm diepte

3.1.2 Beddinghoogte

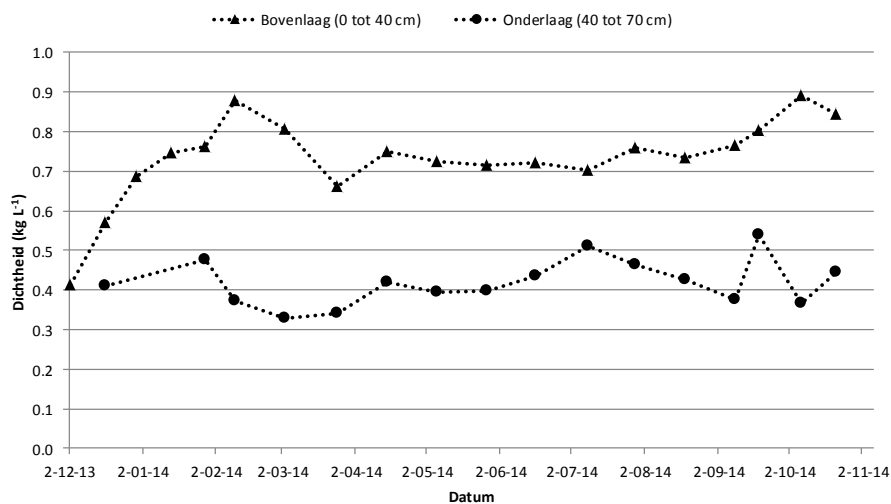
De beddinghoogte varieerde tussen de 59 en 73 cm tijdens de balansperiode (Figuur 4).



Figuur 4 Ontwikkeling van de beddinghoogte in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.1.3 Dichtheid bedding

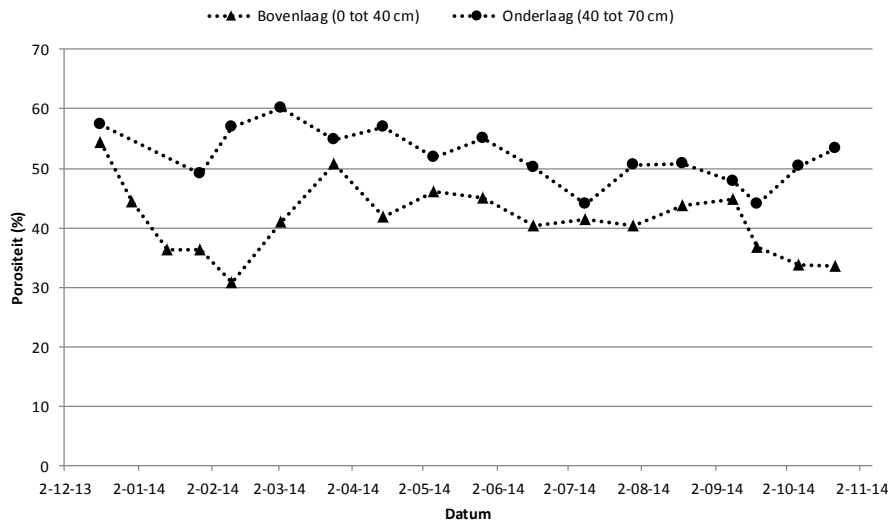
De dichtheid van de bovenlaag nam toe van $0,41 \text{ kg L}^{-1}$ aan het begin van de balansperiode tot een piek van $0,89 \text{ kg L}^{-1}$ half februari en aan het einde van de balansperiode (Figuur 5). De afname tussen 10 februari en 25 maart was mede het gevolg van de aanvoer van een partij houtsnippers op 14 februari en 18 maart. De dichtheid van de onderlaag schommelde tijdens de balansperiode tussen de $0,33$ en $0,54 \text{ kg L}^{-1}$ en was gemiddeld $0,42 \text{ kg L}^{-1}$.



Figuur 5 Ontwikkeling van de dichtheid van de bovenlaag van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.1.4 Porositeit bedding

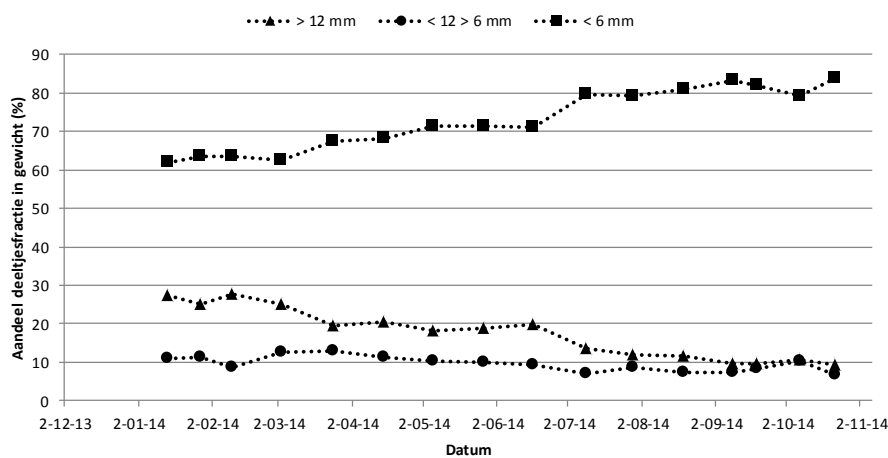
De porositeit van de bovenlaag varieerde tussen de 31 en 54% tijdens de balansperiode (Figuur 6). De toename van de porositeit tussen 10 februari en 25 maart is te verklaren door de aanvoer van twee partijen houtsnippers, op 14 februari en 18 maart. De porositeit van de onderlaag varieerde tijdens de balansperiode tussen de 44 en 60%.



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

3.1.5 Deeltjesgrootte bedding

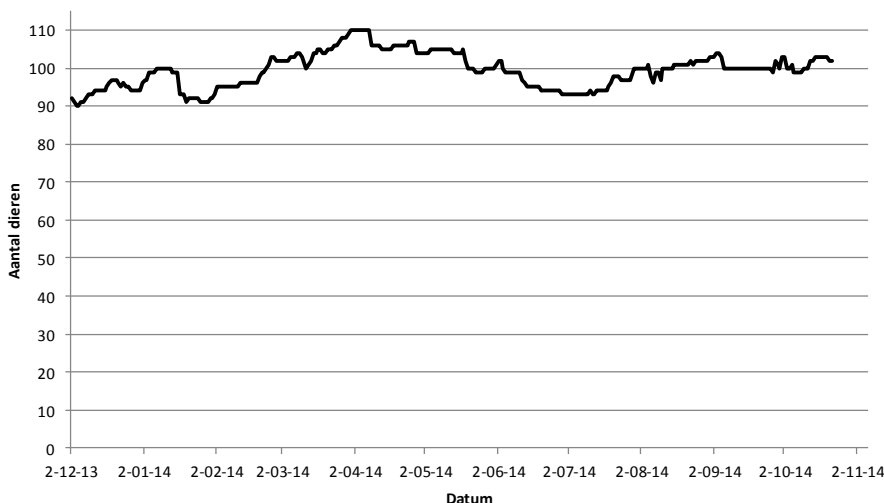
De deeltjesgrootte in de bovenlaag nam tijdens de balansperiode geleidelijk af (Figuur 7). Het percentage deeltjes kleiner dan 6 mm nam toe van 62 tot 84%, het percentage deeltjes groter dan 12 mm nam af van 27 tot 9% en het percentage deeltjes tussen 6 en 12 mm bleef op een constant niveau rond 10%. Opvallend is dat het percentage deeltjes kleiner dan 6 mm aan het begin van de balansperiode al relatief hoog was en het percentage deeltjes groter dan 12 mm relatief laag.



Figuur 7 Ontwikkeling van deeltjesgrootte in de bovenlaag van de bedding, aandeel fractie in totaal gewicht

3.2 Samenstelling veestapel

Tijdens de balansperiode waren er gemiddeld 99 dieren in de vrijloopstal aanwezig, bestaande uit alleen melkgevende koeien. De ontwikkeling van het aantal melkgevende koeien in de vrijloopstal is gegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Ontwikkeling van het aantal koeien in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.3 Resultaten per balanspost

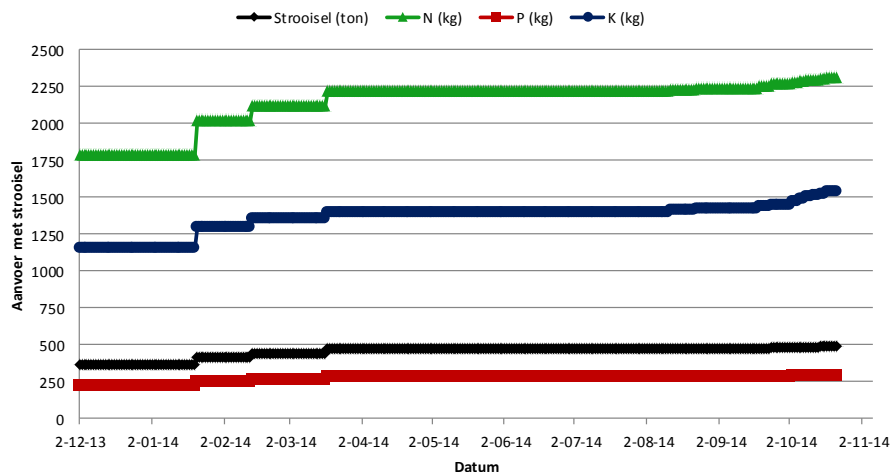
3.3.1 NPK_{strooisel}

De samenstelling van bemonsterde partijen strooisel (excl. aangevoerd en aanwezig materiaal op 2 december, zie Tabel 3, Tabel 4) is gegeven in Tabel 2. Van de aanvoer bestond 83% uit geshredderd hout, 14% uit houtsnippers en 3% uit stro/stromest. In totaal (inclusief de aanvoer op 2 december) werd tijdens de balansperiode 483 ton strooisel aangevoerd, met daarin 2308 kg N, 287 kg P en 1534 kg K (Figuur 9).

Tabel 2

Samenstelling van bemonsterd strooisel op verschillende datums (in g kg⁻¹ product, behalve de berekende C/N-verhouding).

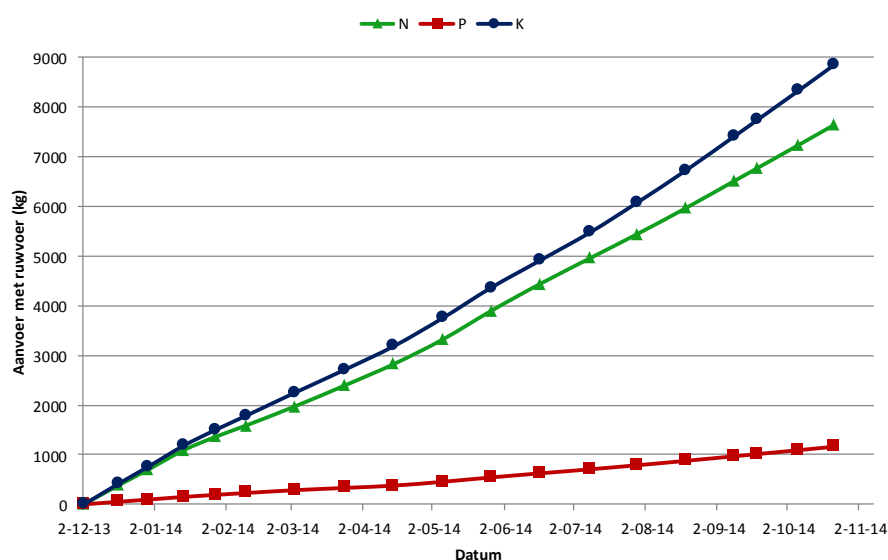
Datum	Type strooisel	Ds	As	N	P	K	C	C/N
30-12-2013	Geshredderd hout	588	272	3,88	0,55	2,15	158	41
21-01-2014	Stromest	395	60	6,60	0,81	5,73	145	22
03-03-2014	Houtsnippers	479	55	3,45	0,44	1,56	232	67
19-09-2014	Houtsnippers	554	21	3,98	0,46	2,10	282	71



Figuur 9 Cumulatieve aanvoer van strooisel en NPK met strooisel in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.3.2 $NPK_{ruwvoer}$

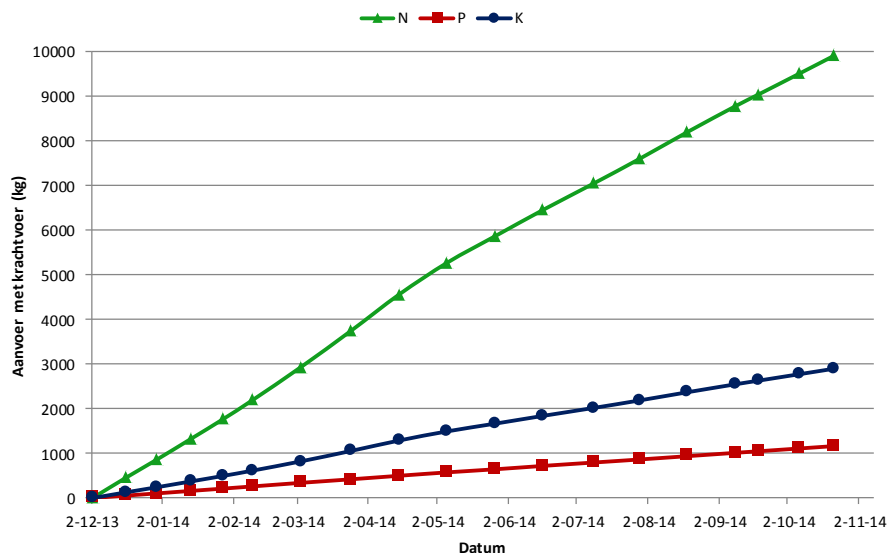
De gemiddelde dagelijkse NPK-aanvoer met ruwvoer voor de melkgevende koeien tijdens de balansperiode werd berekend op 237 g N, 36 g P en 275 g K per koe. In totaal werd met ruwvoer 7640 kg N, 1161 kg P en 8845 kg K in de vrijloopstal aangevoerd (Figuur 10).



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

3.3.3 $NPK_{krachtvoer}$

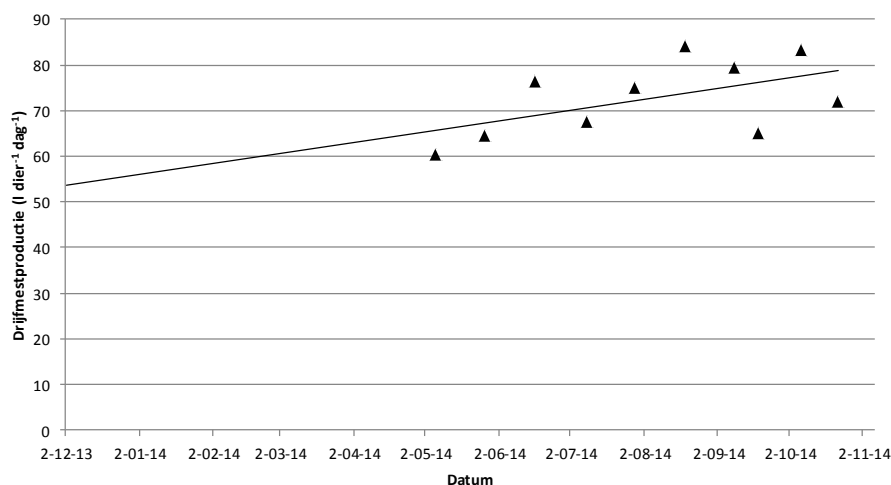
De gemiddelde dagelijkse NPK-aanvoer met mengvoer voor de melkgevende koeien tijdens de balansperiode werd berekend op 308 g N, 36 g P en 90 g K per koe. In totaal werd met mengvoer 9919 kg N, 1165 kg P en 2900 kg K in de vrijloopstal aangevoerd (Figuur 11).



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

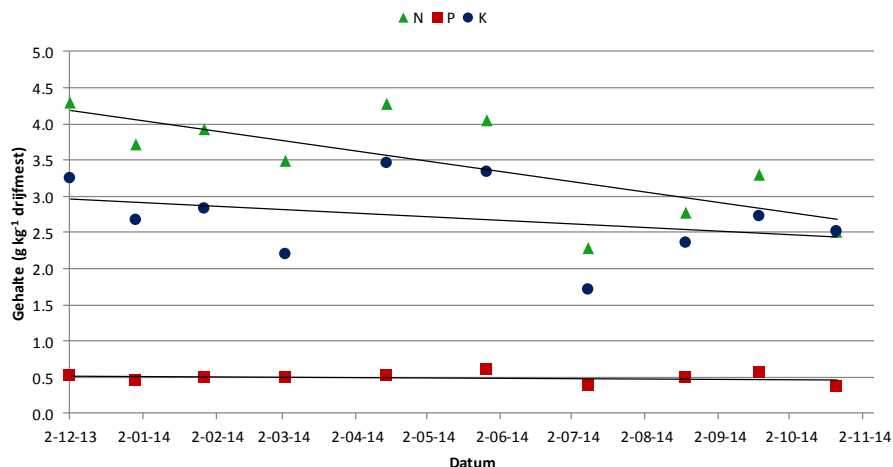
3.3.4 NPK_{drijfmest}

Uit de lineaire regressieanalyse bleek geen significante relatie tussen de gemeten drijfmestproductie per dier per dag en de tijd ($P = 0,11$) ($\alpha = 0,05$) (Figuur 12). Ook waren er geen significante relaties tussen het soortelijk gewicht en de tijd ($P = 0,15$), het P-gehalte en de tijd ($P = 0,48$) en het K-gehalte en de tijd ($P = 0,39$) (Figuur 13). Er was echter wel een significante (negatieve) relatie tussen het N-gehalte en de tijd ($P = 0,02$; $R^2_{adj.} = 47\%$) (Figuur 13). Deze relatie werd beschreven als: N-gehalte ($g\ kg^{-1}$) = $197 - 0,00464 * datumwaarde$.



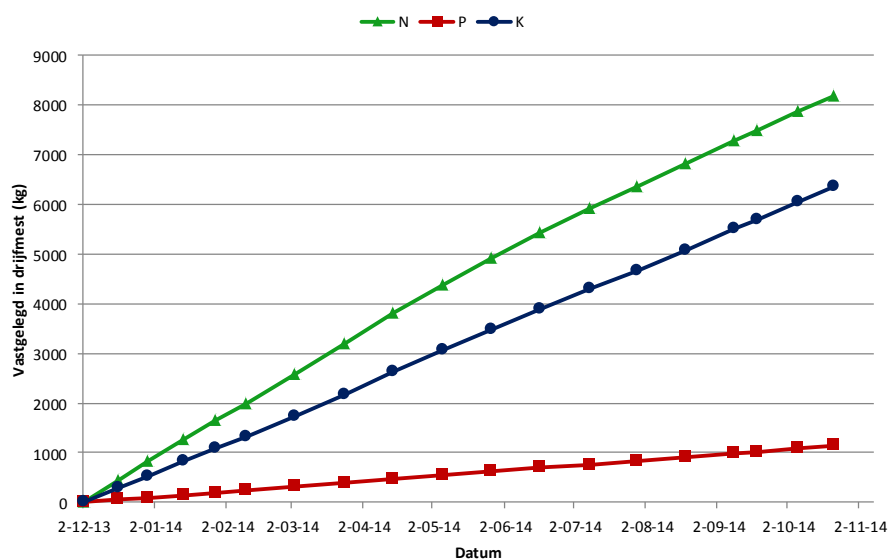
Figuur 12 Ontwikkeling van de gemeten drijfmestproductie per dier per dag in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

Voor berekening van de drijfmestproductie per dier per dag in kg werd de gemiddelde gemeten drijfmestproductie in L ($70\ L\ dier^{-1}\ dag^{-1}$) tijdens de balansperiode vermenigvuldigd met het gemiddelde soortelijk gewicht ($1,04\ kg\ L^{-1}$) tijdens de balansperiode. De N-productie per dier per dag met drijfmest werd berekend door de gemiddelde drijfmestproductie per dier per dag te vermenigvuldigen met het dagelijks berekende N-gehalte. Dit dagelijkse N-gehalte werd berekend met behulp van de afgeleide relatie tussen N-gehalte en de tijd (datumwaarde). De PK-productie per dier per dag werd berekend door de gemiddelde drijfmestproductie per dier per dag te vermenigvuldigen met het gemiddelde P-gehalte ($0,48\ g\ P\ kg^{-1}$) en K-gehalte ($2,70\ g\ K\ kg^{-1}$) van de drijfmest over de balansperiode.



Figuur 13 Ontwikkeling van de NPK-gehalten in de drijfmest in de opvangput van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

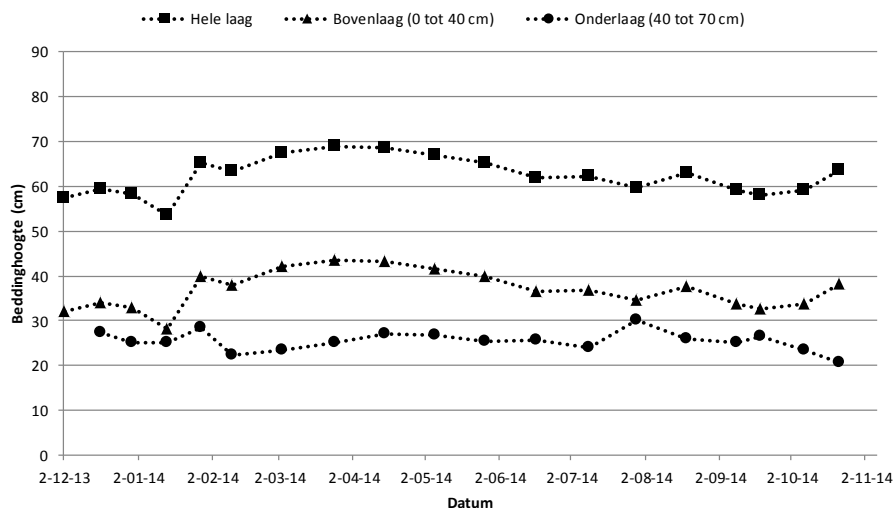
De totale drijfmestproductie in de vrijloopstal over de balansperiode werd berekend op 2349 ton en de totale vastlegging van NPK in geproduceerde drijfmest op 8138 kg N, 1129 kg P en 6357 kg K (Figuur 14).



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

3.3.5 NPK_{bedding}

De gemiddelde hoogte van de onderlaag was 25 cm. De daarmee berekende hoogte van de bovenlaag varieerde tussen 28 en 42 cm en was gemiddeld over de balansperiode 37 cm (Figuur 15).



Figuur 15 Hoogte van de bedding in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gesplitst in hoogte van de bovenlaag, de onderlaag en de hele laag. De hoogte van de hele laag en onderlaag werd gemeten; de hoogte van de bovenlaag werd berekend met de gemiddelde hoogte van de onderlaag tijdens de balansperiode

De NPK-gehalten in de bovenlaag namen aanzienlijk toe tijdens de balansperiode door toevoeging van NPK met uitgescheiden mest en het concentrerende effect van de afbraak van organische stof (Tabel 3). Er werd tijdens de balansperiode geen bedding uit de stal gehaald. Aan het einde van de balansperiode was er 484 ton bedding in de bovenlaag aanwezig, met daarin vastgelegd 3515 kg N, 725 kg P en 4956 kg K.

Tabel 3

Ontwikkeling in de samenstelling van de bovenlaag 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
02-12-13	653	143	3,95	0,53	2,55	257	0,13	< 0,01	5,3	65 ¹⁾
17-12-13	511	227	4,05	0,53	2,98	125	0,23	0,03	8,2	31
30-12-13	514	235	5,39	0,68	4,89	147	0,46	< 0,01	8,5	27
14-01-14	506	238	5,28	0,74	4,44	120	0,13	0,18	8,2	23
28-01-14	530	343	4,27	0,61	3,11	86	0,18	0,02	8,1	20
10-02-14	509	308	4,24	0,66	3,56	101	0,11	0,04	8,2	24
03-03-14	492	261	4,54	0,73	4,87	107	0,09	0,12	8,1	24
25-03-14	510	267	5,24	0,93	5,05	120	0,05	0,01	8,4	23
15-04-14	502	266	5,72	0,97	5,95	103	0,07	0,06	8,8	18
06-05-14	522	285	6,81	1,17	7,62	111	0,07	0,08	9,0	16
27-05-14	533	272	6,83	1,21	8,62	108	0,17	< 0,01	9,3	16
17-06-14	565	319	7,82	1,40	8,53	108	0,19	< 0,01	9,1	14
09-07-14	584	341	9,13	1,68	11,6	124	0,21	0,28	9,0	14
29-07-14	598	337	9,27	1,67	11,9	138	0,16	0,22	9,3	15
19-08-14	562	333	12,1	1,72	12,0	143	0,17	0,02	9,3	12
09-09-14	553	338	12,5	1,78	13,3	121	0,18	< 0,01	9,4	10
19-09-14	541	344	8,34	1,80	10,6	148	< 0,01	< 0,01	8,9	18
07-10-14	520	322	8,10	1,76	10,8	118	< 0,01	< 0,01	9,0	15
22-10-14	466	270	7,27	1,50	10,2	95	< 0,01	< 0,01	8,8	13

1) deze waarde wijkt erg af van het verdere verloop van C/N-verhouding en is waarschijnlijk het gevolg van een onvoldoende representatieve bemonstering

De NPK-gehalten in de onderlaag waren erg variabel over de balansperiode (Tabel 4). Uit lineaire regressie bleek er geen relatie te zijn tussen het N-gehalte in de onderlaag en de tijd ($P = 0,21$), maar

wel tussen het P-gehalte en de tijd ($P = 0,025$) en het K-gehalte en de tijd ($P = 0,001$). Het gemiddelde N-gehalte over de balansperiode was $6,30 \text{ g N kg}^{-1}$. De lineaire relaties tussen het PK-gehalte in de onderlaag en de tijd werden beschreven als:

P-gehalte in onderlaag (g kg^{-1}) = $-45 + 0,001095 * \text{datumwaarde}$ ($P = 0,025$; $R^2_{\text{adj.}} = 22\%$)

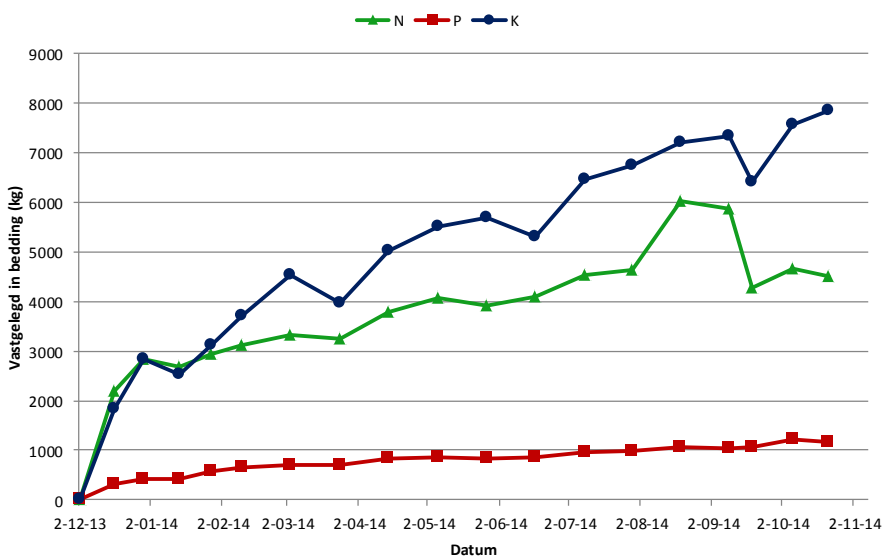
K-gehalte in onderlaag (g kg^{-1}) = $-347 + 0,00841 * \text{datumwaarde}$ ($P = 0,001$; $R^2_{\text{adj.}} = 43\%$)

Tabel 4

Ontwikkeling in de samenstelling van de onderlaag 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
02-12-13	689	293	6,00	0,77	3,83	689	0,27	<0,010	6,6	31
17-12-13	490	212	4,11	0,56	2,92	490	0,09	<0,010	7,8	35
30-12-13	662	202	5,92	0,74	4,22	662	0,38	0,03	7,4	37
14-01-14	723	235	6,84	0,68	3,60	723	0,61	0,02	7,3	32
28-01-14	695	228	5,55	0,59	3,68	695	0,24	0,03	7,0	43
10-02-14	707	193	6,01	0,63	3,53	707	0,51	0,10	7,1	45
03-03-14	691	93	4,87	0,44	3,28	691	0,29	0,05	7,2	61
25-03-14	829	223	8,18	0,79	4,43	829	0,52	0,01	6,8	34
15-04-14	686	334	6,60	0,78	4,26	686	0,18	0,10	6,8	35
06-05-14	595	156	4,42	0,49	2,77	595	0,20	0,02	6,6	47
27-05-14	692	170	5,43	0,63	5,05	692	0,17	< 0,010	8,3	41
17-06-14	722	289	7,99	0,95	5,86	722	0,23	< 0,010	8,0	26
09-07-14	704	475	7,48	1,27	5,75	704	0,30	< 0,010	7,8	24
29-07-14	623	238	8,11	0,78	5,70	623	0,24	< 0,010	8,0	24
19-08-14	702	282	8,26	0,97	6,37	702	0,17	0,11	7,3	23
09-09-14	756	170	5,77	0,64	3,84	756	0,08	< 0,010	7,2	42
19-09-14	754	470	7,03	1,30	7,53	216	< 0,010	0,23	8,1	31
07-10-14	645	347	5,18	0,77	4,07	226	0,04	0,17	6,9	44
22-10-14	686	248	6,05	0,89	6,39	219	< 0,010	0,06	7,8	36

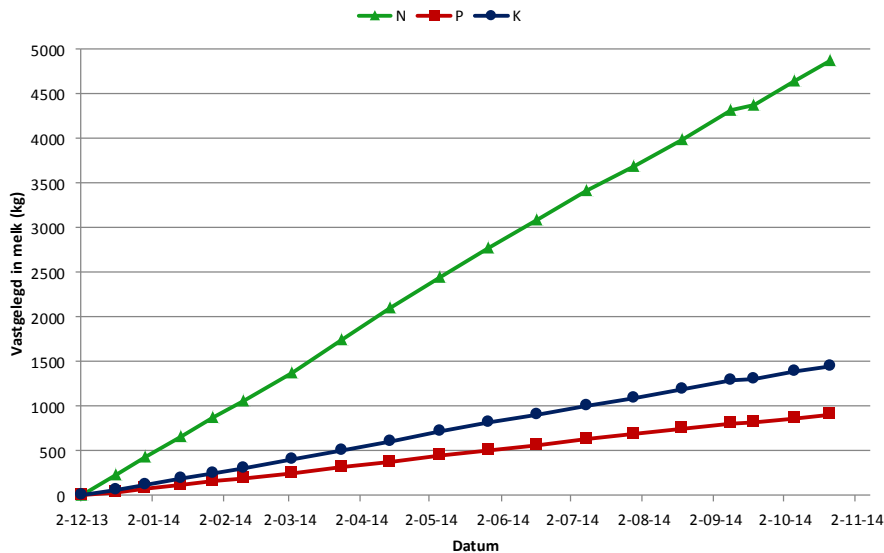
Aan het einde van de balansperiode was er 159 ton bedding in de onderlaag aanwezig, met daarin vastgelegd 1004 kg N, 444 kg P en 2886 kg K. De totale NPK vastlegging in de bedding (bovenlaag + onderlaag) tijdens de balansperiode was daarmee 4519 kg N, 1169 kg P en 7842 kg K (Figuur 16).



Figuur 16 Cumulatieve vastlegging van NPK in de bedding van de vrijloopstal (bovenlaag + onderlaag) tijdens de balansperiode

3.3.6 NPK_{melk}

De gemiddelde melkproductie van de koeien in de vrijloopstal tijdens de balansperiode werd berekend op 28,2 kg per koe per dag en 10287 kg per koe per jaar. De totale melkproductie over de balansperiode was 908106 kg, het gemiddelde eiwitgehalte 3,43%, het gemiddelde vetgehalte 4,23% en het gemiddelde ureumgetal 24. De totale vastlegging van NPK in geproduceerde melk in de vrijloopstal over de balansperiode werd berekend op 4877 kg N, 908 kg P en 1453 kg K (Figuur 17).



Figuur 17 Cumulatieve vastlegging van NPK in melk in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

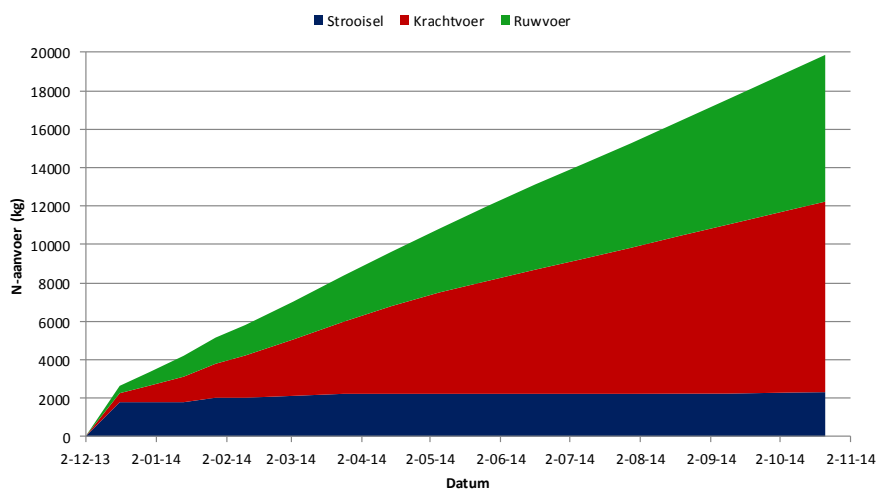
3.3.7 NPK_{dieren}

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

3.4 NPK balans

3.4.1 N-aanvoer

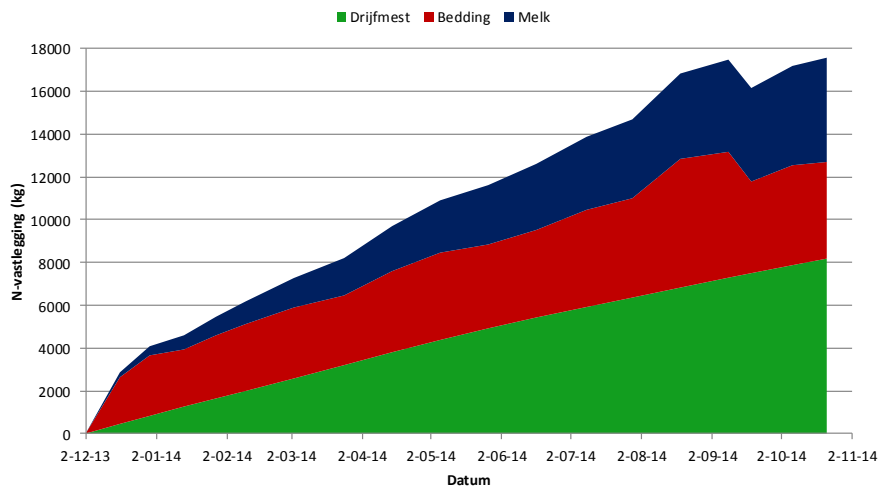
De cumulatieve N-aanvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode was 19867 kg (Figuur 18) (Tabel 7). Hiervan werd 12% aangevoerd met strooisel, 50% met krachtvoer en 38% met ruwvoer.



Figuur 18 Cumulatieve totale N-aanvoer in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gesplitst in aanvoer met strooisel, krachtvoer en ruwvoer

3.4.2 N-vastlegging

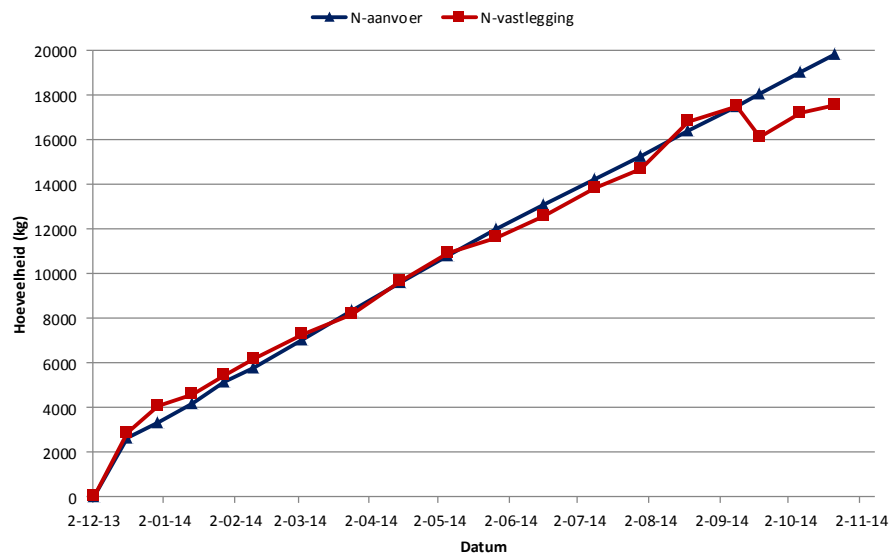
De cumulatieve N-vastlegging in de vrijloopstal tijdens de balansperiode was 17580 kg (Figuur 19) (Tabel 7). Hiervan werd 46% vastgelegd in drijfmest, 26% in de bedding en 28% in melk.



Figuur 19 Cumulatieve totale N-vastlegging in de vrijloopstal tijdens de balansperiode, gesplitst in vastlegging in drijfmest, bedding en melk

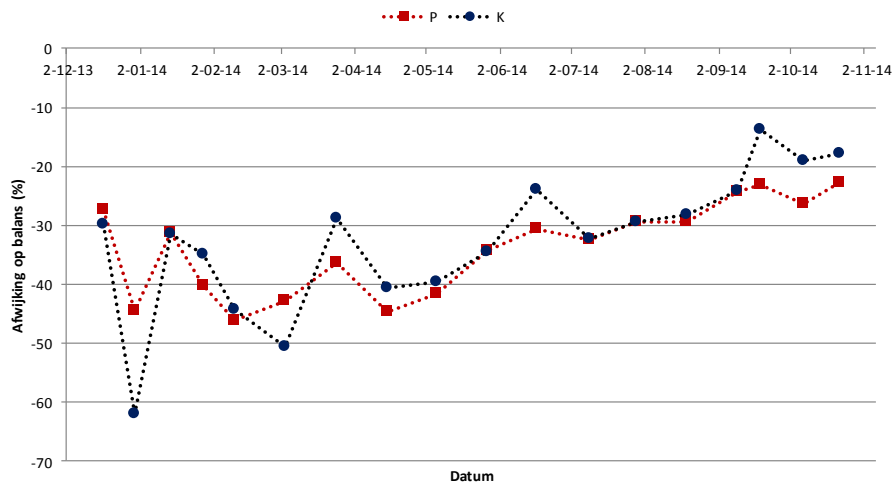
3.4.3 NPK-balans

De cumulatieve (ongecorrigeerde) NPK-balansen zijn per meetmoment gegeven in Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9 (Bijlage 1). De ontwikkeling van de cumulatieve N-balans over de tijd is ook gegeven in Figuur 20.



Figuur 20 Ongecorrigeerde cumulatieve N-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

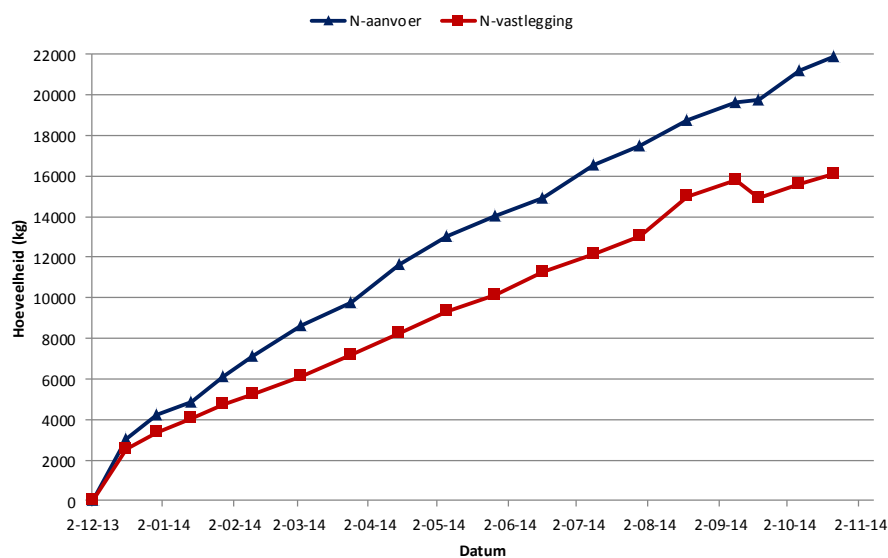
Het verschil tussen aanvoer en vastlegging op de P-balans varieerde tussen de -23 en -46% (Figuur 21, Tabel 8). Het verschil tussen aanvoer en vastlegging op de K-balans varieerde tussen -14% en -62% (Figuur 21, Tabel 9).



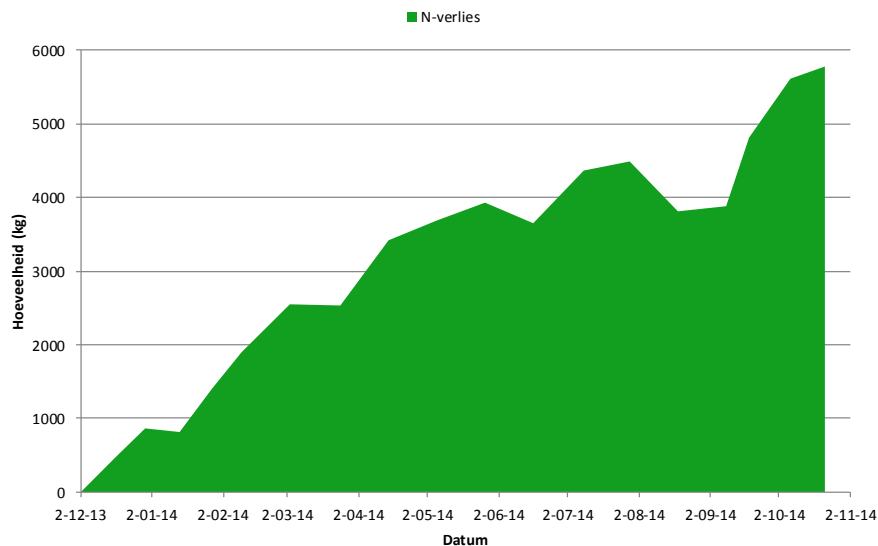
Figuur 21 Afwijkingen op de cumulatieve PK-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode

3.4.4 Gecorrigeerde N-balans en N-verlies

De gecorrigeerde cumulatieve NPK-balansen zijn per meetmoment gegeven in Tabel 10, Tabel 11 en Tabel 12 (Bijlage 1). De ontwikkeling van de gecorrigeerde cumulatieve N-balans over de tijd is ook gegeven in Figuur 22. Het cumulatieve N-verlies nam toe van 469 kg N bij het eerste balansmoment (tweede meetmoment) tot 5780 kg N aan het einde van de balansperiode (Figuur 23).

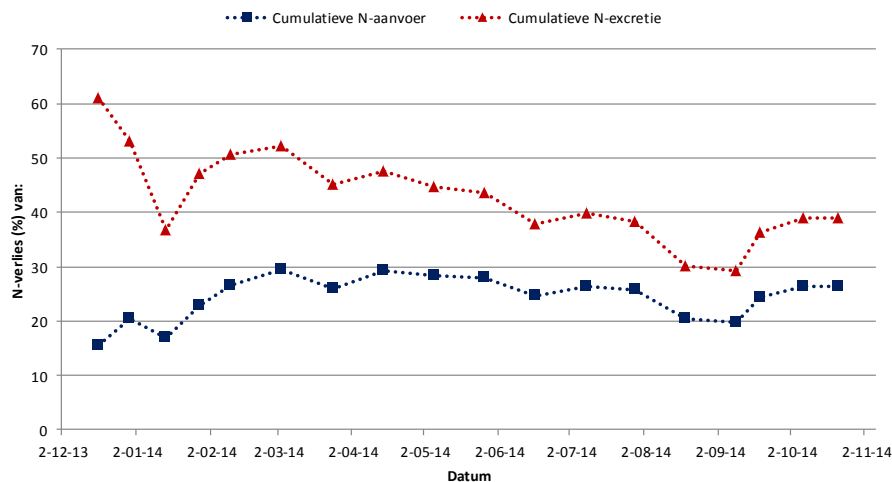


Figuur 22 Cumulatieve gecorrigeerde N-balans van de vrijloopstal tijdens de balansperiode



Figuur 23 Cumulatief gecorrigeerd N-verlies uit de vrijloopstal tijdens de balansperiode

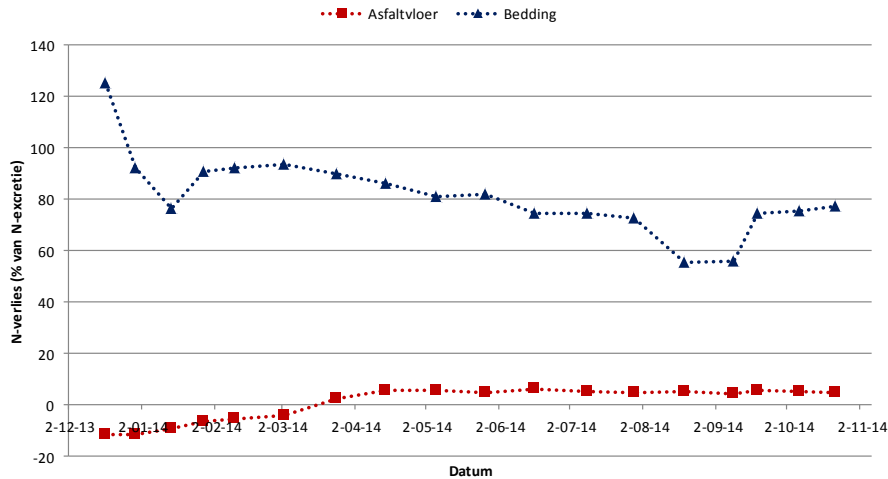
Het N-verlies uitgedrukt als percentage van de cumulatieve aangevoerde N nam toe van 16% op het eerste balansmoment tot 26% over de hele balansperiode (Figuur 24). Het N-verlies uitgedrukt als percentage van de cumulatieve N-excretie nam af van 61% op het eerste balansmoment tot 39% over de hele balansperiode (Figuur 24). Uitgedrukt als percentage van de netto N-aanvoer op de stalvloer (met strooisel en excretie) was het N-verlies over de hele balansperiode 33%. Per kg geproduceerde melk was het N-verlies over de hele balansperiode 6,4 g N.



Figuur 24 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 11, Tabel 12) werd berekend dat 42% van de P-excretie en 49% 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 42% van de feces en 50% van de urine op de bedding werd uitgescheiden. Daarmee kwam indicatief 47% van de totale N-excretie op de bedding en de overige 53% op de asfaltvloer. Uit de indicatieve splitsing van het N-verlies over bedding en asfaltvloer blijkt dat het N-verlies van de bedding over de hele balansperiode erg hoog was, in totaal 77% van de N-excretie. Het N-verlies van de asfaltvloer was laag, met over de hele balansperiode een indicatief N-verlies van 5% van de N-excretie. De berekende verliespercentages waren aan het begin van de balansperiode erg variabel en stabiliseerden naar het einde van de balansperiode (Figuur 25) (NB: een N-verlies van de asfaltvloer

van -12% van de N-excretie is niet realistisch en waarschijnlijk het gevolg van de grote afwijkingen (meetfouten) het begin van de balansperiode (Figuur 21)).



Figuur 25 *Indicatieve splitsing van het cumulatieve N-verlies uit de vrijloopstal tussen bedding en asfaltvloer*

Het N-verlies uit de stal en vanaf het land (indicatief) was voor vrijloopstal Hartman over de hele balansperiode 44% van de N-excretie in de stal (Tabel 5). Dit was aanzienlijk hoger dan het totale N-verlies van 19% voor de referentie ligboxenstal. Het indicatieve N-verlies uit de stal en vanaf het land was voor de bedding (77%) hoger dan voor de asfaltvloer (14%).

Tabel 5

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

Parameter	Bedding	Asfaltvloer	Totaal
N-excretie in stal (kg)	7006	7865	14872
N-verlies uit stal (kg)	5410	371	5780
N-vastlegging in stal (kg)	4139	7495	11634
N-verlies op land (kg)	0	717	717
Totaal N-verlies stal + land (kg)	5410	1088	6498
Totaal N-verlies stal + land (% van N-excretie)	77,2	13,8	43,7

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 zowel de P- als K-balans waren relatief groot aan het begin van de balansperiode en namen af naar het einde (Figuur 21). 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 afwijking op de PK-balans van 18 tot 23% over de hele balansperiode is wat aan de hoge kant maar niet onacceptabel. De afwijkingen aan het begin van de balansperiode zijn echter wel te hoog; bij een afwijking van 40 tot 60% zit er veel ruis om de berekende gegevens, waarschijnlijk ook na correctie hiervoor. Dit is mogelijk ook de oorzaak van het berekende (onrealistische) negatieve N-verlies van de asfaltvloer tijdens de eerste drie maanden van de balansperiode (Figuur 25) en de (ogenschijnlijke?) daling van het N-verlies over de balansperiode (Figuur 24). Geconcludeerd werd dat bij de eerste meetpunten er waarschijnlijk teveel ruis op het berekende N-verlies zat, maar dat deze ruis over het totaal van de balansperiode een stuk beperkter en acceptabel was.

De variatie in gemeten NPK-vastlegging in de bedding leverde waarschijnlijk een belangrijke bijdrage aan het niveau van de afwijkingen op de PK-balans. Bij de NPK-vastlegging in de bedding was er tussen meetmomenten regelmatig sprake van een sterke toename, een gelijk blijven of een afname van hoeveelheden (Figuur 16). Deze veranderingen lijken weinig realistisch. Mogelijke oorzaken hiervoor waren een beperkte menging van een groot deel van de bedding (paragraaf 2.2) gecombineerd met het meten en bemonsteren op slechts drie posities (paragraaf 2.5.5).

De afwijkingen op de PK-balans waren structureel negatief. Dit werd mogelijk voor een aanzienlijk deel veroorzaakt door overschatting van de PK-vastlegging in de bedding. In de bedding waren erg grove stukken hout aanwezig, die niet werden meegenomen bij meting van de bulkdichtheid en bij de bemonstering. Omdat hout lage NPK-gehalten heeft (Tabel 2) kan het NPK-gehalte van de aanwezige bedding hierdoor overschat zijn, wat leidde tot een overschatting van de NPK-vastlegging in de bedding.

4.2 Niveau N-verlies vrijloopstal Hartman

Het N-verlies uit vrijloopstal Hartman tijdens de balansperiode 2013/2014 lag rond het gemiddelde van het N-verlies dat tot nu toe in vrijloopstallen is gemeten (Tabel 6). Van deze vrijloopstal werd eerder een NPK-balans berekend (stal nr. 4 in Tabel 6). Vergeleken met de vorige balans lag het N-verlies van de huidige balans, uitgedrukt als percentage van de N-excretie, op hetzelfde niveau. Voor de huidige balans was het N-verlies per kg melk was wat hoger en het N-verlies als percentage van N-aanvoer op de stalvloer duidelijk hoger. Dit laatste verschil kan verklaard worden doordat de huidige balansperiode (324 dagen) veel langer duurde dan de vorige (193 dagen). Hierdoor werd er in verhouding minder N aangevoerd met strooisel vergeleken met de vorige balansperiode en was het verlies procentueel hoger. Het niveau van N-verlies van de huidige balans van vrijloopstal Hartman was hoger dan het niveau van een eerder berekende balans van een andere vrijloopstal met toepassing van een vergelijkbare composteringsmethode (stal nr. 3 in Tabel 6).

Tabel 6

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

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

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

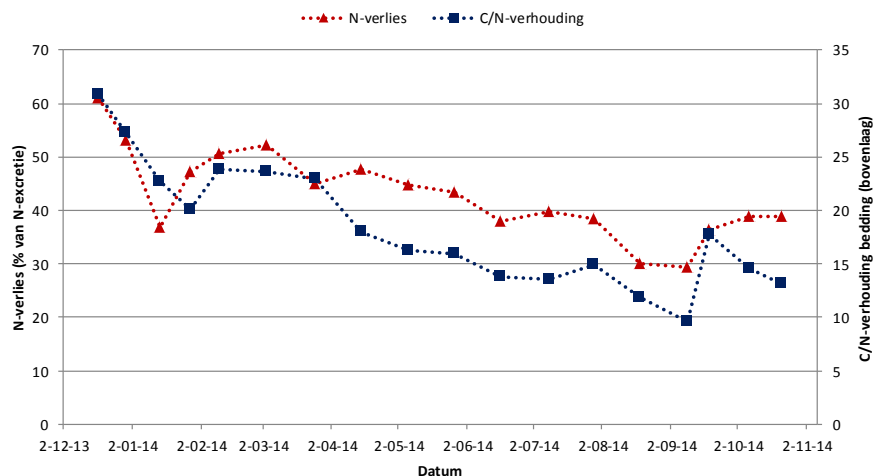
Het N-verlies uit vrijloopstal Hartman tijdens balansperiode 2013/2014 was met 39% van de N-excretie fors hoger dan het verlies van 11% uit de referentie ligboxenstal. Dit werd veroorzaakt door een hoog verlies van de bedding (Figuur 25).

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

Het hoofddoel van compostering van de bedding 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 veronderstelde mechanisme is dat de bacteriën (en andere microflora) de C-verbindingen in 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.

Met de aanvoer van een grote hoeveelheid geshredderd hout 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, Tabel 3, Tabel 4) en er werd in verhouding tot de beschikbare energie uit hout ook weinig N met mest aangevoerd. Bij weinig opneembare N in verhouding tot de beschikbare energie kan een relatief N-tekort ontstaan, een situatie waarbij de opneembare N beperkend is voor de bacteriegroei. De claim op N is dan zo groot, dat er nauwelijks tot geen N in de bedding aanwezig is voor directe vervluchtiging in de vorm van NH₃ of, na omzettingsprocessen, in andere vorm. Dit kan leiden tot zeer lage N-verliezen en zelfs netto opname van N uit de omgevingslucht (Beck et al., 1997; Csehi, 1997; De Boer, 2015b). Bij verdergaande afbraak en continue toevoeging van N met mest neemt het relatieve N-tekort af en kan er een overschot aan opneembare N ontstaan in verhouding tot beschikbare energie. Deze N kan verloren 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, 2015b).

Een laag N-verlies werd bij vrijloopstal Hartman echter niet gerealiseerd. Het N-verlies uit de bedding, en daarmee uit de hele vrijloopstal, was vanaf de start van de balansperiode erg hoog (Figuur 24, Figuur 25). De C/N-verhouding startte op een waarde van ruim 30 en daalde tot een waarde van 13 aan het einde van de balansperiode. De daling van de C/N-verhouding over de balansperiode leek echter eerder een afname dan een toename van het N-verlies te geven (Figuur 26).



Figuur 26 Verloop van het cumulatieve N-verlies en de C/N-verhouding van de bedding (bovenlaag) in de vrijloopstal tijdens de balansperiode

Lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) gaf een significante relatie ($P < 0,01$) tussen het cumulatieve N-verlies en de C/N-verhouding van de bedding (bovenlaag). Deze relatie werd beschreven als:

$$\text{N-verlies (\% van N-excretie)} = 20,4 + 1,22 * \text{C/N-verhouding} \quad (P < 0,01; R^2_{\text{adj.}} = 72\%)$$

Het is hierbij niet duidelijk of er sprake was van een oorzaak-gevolg relatie (causaliteit) en waar deze uit kon bestaan. Een daling van het N-verlies tegelijk met een daling van de C/N-verhouding is niet logisch; de verwachting is eerder dat het N-verlies toeneemt bij een dalende C/N-verhouding (zie boven). De daling van het N-verlies werd mogelijk eerder veroorzaakt door een daling van de (grote) afwijkingen op de P- en K-balans (Figuur 21) dan dat er sprake was van een werkelijke daling. Dat zou kunnen betekenen dat het N-verlies tijdens de hele balansperiode meer op hetzelfde niveau lag. Hoewel er een behoorlijke compostering heeft plaatsgevonden, iets dat ook af te leiden is uit het temperatuurverloop in de bedding (Figuur 3), is er blijkbaar toch te weinig energie uit het geshredderde hout op tijd beschikbaar gekomen om voldoende bacteriegroei mogelijk te maken en daarmee N te binden. Dit kan onder andere verklaard worden door een te beperkte aanvoer van nieuw strooisel in de toplaag van de bedding, de laag met de grootste N-belasting uit mest. Daarnaast heeft de grove structuur van het geshredderde hout, in combinatie met spitten in plaats van frezen (paragraaf 2.2), waarschijnlijk ook bijgedragen aan het trager beschikbaar komen van energie. Grote stukken hout worden langzamer afgebroken vergeleken met houtsnippers, omdat het actieve oppervlak kleiner is. Bij spitten in plaats van frezen wordt de bedding minder intensief gemengd en worden grove houtdelen niet verkleind. Een oorzaak voor de geringe N-binding is waarschijnlijk ook dat een groot deel van de bedding zeer beperkt (eens per paar weken) of helemaal niet gemengd werd. Bij een beperkte menging van beschikbare energie en beschikbare N kan er minder N worden vastgelegd in bacteriële biomassa. De N uit mest die in de beperkt gemengde lagen terecht kwam is daardoor waarschijnlijk grotendeel vervluchtigd. Lineaire regressie (Genstat, 17^e editie) liet zien dat er geen significante relatie was tussen de C/N-verhouding in de niet-gemengde onderlaag en de tijd ($P = 0,38$), met een gemiddelde C/N-verhouding over de balansperiode van 36. Bij een C/N van 36 bevatte deze laag voldoende potentieel beschikbare energie om in ieder geval een deel van de uitgescheiden N vast te kunnen leggen, maar deze energie kwam niet beschikbaar. De toename van het P- en K-gehalte in de onderlaag over de tijd (paragraaf 3.3.5, Tabel 4) geeft aan dat er wel urine en feces in de onderlaag terechtkwamen. Dat het N-gehalte niet toenam betekent waarschijnlijk dat alle N uit deze urine en feces uiteindelijk vervluchtigd is.

Een N-verlies van 77% van de N-excretie op de bedding betekent praktisch gezien dat alle N die werd uitgescheiden met urine vervluchtigde en daarnaast ook een groot deel van N uitgescheiden met feces (Tabel 1). De composterende bedding vervulde daarmee niet de functie om N uit mest te binden en daarmee de N-vervluchtiging te verminderen. Extensief composteren lijkt daarmee geen geschikte methode om het N-verlies van een vrijloopstal met composterende hout(snipper)bedding te beperken.

Deze conclusie kan niet alleen getrokken worden op basis van de resultaten van deze balans, maar ook op basis van de eerder berekende balans voor deze stal en de balans van de andere vrijloopstal met een vergelijkbare composteringsmethode. Om voldoende N uit mest in de bedding vast te leggen, moet er niet alleen voldoende energie met houtsnippers worden aangevoerd, maar moet deze energie ook voldoende snel beschikbaar komen en dagelijks goed gemengd worden met beschikbare N uit mest. In dat geval kan er aanzienlijk meer van de uitgescheiden N worden vastgelegd (De Boer, 2015b).

Conclusies

- Vrijloopstal Hartman had tijdens een balansperiode van bijna elf maanden (inclusief winterperiode) een N-verlies door vervluchtiging uit de stal van 39% van de N-excretie in de stal. Dit verlies was vergelijkbaar met het verlies van een eerder berekende balans (40%) en aanzienlijk hoger dan het verlies uit een referentie ligboxenstal (11%)
- Inclusief de indicatieve N-vervluchtiging tijdens en na toediening van drijfmest en compost op het land was de totale N-vervluchtiging uit vrijloopstal Hartman 44% van de N-excretie in de stal, vergeleken met 19% uit de referentie ligboxenstal
- Een indicatieve splitsing van het N-verlies tussen bedding en asfaltvloer gaf een N-verlies van 77% van de N-excretie op de bedding en 5% van de N-excretie op de asfaltvloer. Het hoge N-verlies werd daarmee op de bedding gerealiseerd
- Zowel het N-verlies als de C/N-verhouding van de bedding (bovenlaag) daalde tijdens de balansperiode. Hoewel er een significante relatie ($P < 0,01$) was tussen de daling van het N-verlies en de C/N-verhouding, leek hierbij geen sprake te zijn van causaliteit. De daling van het N-verlies leek eerder veroorzaakt te worden door een afname van de meetfouten
- De doelstelling om tijdens de compostering een groot deel van de met mest uitgescheiden N te binden in bacteriële biomassa werd niet gerealiseerd. Een oorzaak hiervoor was waarschijnlijk de grofheid van het geshredderde hout, waardoor dit te langzaam afbrak om voldoende bacteriegroei te kunnen realiseren. Een relatief beperkte aanvoer van nieuw strooisel, een weinig intensieve menging van de toplaag door spitten, en het niet of nauwelijks mengen van de laag daaronder, hebben waarschijnlijk ook bijgedragen aan het hoge N-verlies. N uit mest die in de onderlaag terecht kwam is waarschijnlijk geheel vervluchtigd
- Extensief (rustig) composteren, een combinatie van composteren bij relatief lage temperatuur, gebruik van grovere en oudere houtdelen, een beperkte aanvoer van nieuw strooisel en een weinig intensieve bewerking van de bedding, lijkt geen geschikte methode om het N-verlies van een vrijloopstal met composterende bodem 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, the Netherlands.
- 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, the Netherlands.
- De Boer, H.C. 2015a. NPK balances, gaseous N loss and some manure quality characteristics of six different bedded pack barns in the Netherlands. Report Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, the Netherlands (in voorbereiding).
- De Boer, H.C. 2015b. Ontwikkeling van de N-balans, het N-verlies en de beddingsamenstelling van vrijloopstal Ottema-Wiersma in 2013/2014. Rapport 881, 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 7

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

Balanspost	Datum																		
	2013			2014															
	2-12	17-12	30-12	14-1	28-1	10-2	3-3	25-3	15-4	6-5	27-5	17-6	9-7	29-7	19-8	9-9	19-9	7-10	22-10
Aanvoer met strooisel	0	1787	1787	1787	2020	2020	2117	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2229	2233	2252	2290	2308
Aanvoer met ruwvoer	0	383	705	1088	1362	1587	1970	2400	2828	3320	3898	4437	4966	5443	5965	6513	6773	7243	7640
Aanvoer met krachtvoer	0	468	859	1327	1768	2199	2934	3752	4566	5278	5874	6465	7054	7605	8209	8789	9050	9521	9919
Vastgelegd in melk	0	229	427	661	870	1061	1379	1748	2105	2446	2776	3092	3416	3690	3991	4313	4373	4645	4877
Vastgelegd in compost	0	2183	2831	2671	2951	3129	3317	3260	3792	4083	3922	4092	4544	4645	6020	5885	4285	4673	4519
Vastgelegd in drijfmest	0	453	826	1264	1643	1994	2577	3201	3805	4378	4922	5429	5919	6360	6828	7292	7503	7877	8183
Totaal aangevoerd	0	2639	3351	4202	5150	5805	7021	8374	9616	10820	11994	13124	14242	15270	16403	17534	18075	19054	19867
Totaal vastgelegd	0	2865	4084	4596	5464	6184	7273	8208	9703	10908	11620	12613	13879	14695	16840	17490	16162	17195	17580
Verlies	0	-227	-732	-394	-314	-379	-252	166	-87	-88	374	511	363	575	-437	45	1914	1859	2288

Tabel 8

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

Balanspost	Datum																			
	2013					2014														
	2-12	17-12	30-12	14-1	28-1	10-2	3-3	25-3	15-4	6-5	27-5	17-6	9-7	29-7	19-8	9-9	19-9	7-10	22-10	
Aanvoer met strooisel	0	216	216	216	248	248	262	275	275	275	275	275	275	275	276	277	279	284	287	
Aanvoer met ruwvoer	0	53	97	149	191	228	285	332	378	454	543	624	707	788	876	969	1013	1093	1161	
Aanvoer met krachtvoer	0	57	104	161	212	261	342	421	500	576	645	722	797	865	940	1015	1050	1113	1165	
Vastgelegd in melk	0	40	75	118	157	192	250	316	382	446	508	568	631	684	742	803	815	865	908	
Vastgelegd in compost	0	322	431	425	564	651	713	697	820	861	840	859	963	980	1062	1030	1053	1205	1169	
Vastgelegd in drijfmest	0	52	95	147	192	235	307	387	466	544	619	691	763	830	903	978	1013	1076	1129	
Totaal aangevoerd	0	325	417	526	651	738	889	1028	1153	1306	1463	1621	1779	1928	2092	2260	2341	2489	2613	
Totaal vastgelegd	0	414	602	690	913	1078	1270	1401	1669	1851	1967	2119	2357	2495	2708	2811	2881	3147	3206	
Verlies	0	-89	-185	-164	-262	-341	-381	-373	-516	-545	-504	-498	-578	-567	-617	-551	-539	-657	-593	

Tabel 9

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

Balanspost	Datum																			
	2013					2014														
	2-12	17-12	30-12	14-1	28-1	10-2	3-3	25-3	15-4	6-5	27-5	17-6	9-7	29-7	19-8	9-9	19-9	7-10	22-10	
Aanvoer met strooisel	0	1149	1149	1149	1296	1296	1350	1398	1398	1398	1398	1398	1398	1398	1415	1424	1434	1488	1534	
Aanvoer met ruwvoer	0	416	764	1179	1502	1782	2245	2717	3188	3751	4365	4910	5485	6075	6722	7411	7742	8340	8845	
Aanvoer met krachtvoer	0	132	242	373	496	616	822	1057	1291	1496	1669	1844	2021	2189	2373	2552	2633	2779	2900	
Vastgelegd in melk	0	65	121	189	251	307	400	506	612	713	813	909	1009	1095	1188	1285	1303	1385	1453	
Vastgelegd in compost	0	1846	2833	2538	3114	3704	4527	3973	5032	5502	5699	5299	6472	6737	7202	7350	6419	7573	7842	
Vastgelegd in drijfmest	0	291	535	826	1082	1323	1731	2179	2626	3061	3484	3892	4296	4673	5084	5505	5701	6057	6357	
Totaal aangevoerd	0	1696	2154	2701	3294	3694	4417	5172	5876	6644	7432	8151	8904	9662	10510	11387	11809	12607	13280	
Totaal vastgelegd	0	2202	3489	3554	4447	5334	6658	6659	8270	9276	9996	10099	11778	12504	13474	14140	13424	15015	15652	
Verlies	0	-506	-1335	-853	-1153	-1640	-2241	-1487	-2393	-2632	-2565	-1948	-2874	-2842	-2964	-2753	-1615	-2408	-2372	

Tabel 10

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

Balanspost	Datum																			
	2013			2014																
	2-12	17-12	30-12	14-1	28-1	10-2	3-3	25-3	15-4	6-5	27-5	17-6	9-7	29-7	19-8	9-9	19-9	7-10	22-10	
Aanvoer met strooisel	0	2043	2263	2068	2399	2477	2612	2584	2697	2674	2605	2525	2582	2549	2550	2504	2459	2550	2542	
Aanvoer met ruwvoer	0	438	892	1259	1618	1946	2432	2791	3432	3995	4569	5043	5770	6243	6825	7304	7395	8067	8415	
Aanvoer met krachtvoer	0	535	1088	1535	2100	2697	3621	4362	5542	6351	6887	7347	8197	8724	9393	9856	9880	10604	10924	
Vastgelegd in melk	0	204	353	582	751	895	1160	1534	1790	2093	2420	2762	2998	3271	3545	3892	4037	4216	4467	
Vastgelegd in compost	0	1941	2342	2351	2548	2641	2789	2860	3225	3493	3419	3654	3989	4117	5346	5310	3956	4242	4139	
Vastgelegd in drijfmest	0	402	683	1113	1419	1683	2166	2809	3236	3746	4291	4849	5195	5637	6064	6579	6926	7149	7495	
Totaal aangevoerd	0	3016	4243	4862	6117	7120	8665	9737	11671	13020	14061	14916	16548	17516	18768	19663	19734	21222	21881	
Totaal vastgelegd	0	2547	3379	4047	4718	5220	6115	7203	8251	9332	10130	11264	12181	13025	14955	15781	14919	15607	16101	
Verlies	0	469	864	815	1399	1900	2550	2534	3420	3688	3931	3651	4367	4491	3813	3882	4815	5615	5780	

Tabel 11

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

Balanspost	Datum																			
	2013			2014																
	2-12	17-12	30-12	14-1	28-1	10-2	3-3	25-3	15-4	6-5	27-5	17-6	9-7	29-7	19-8	9-9	19-9	7-10	22-10	
Aanvoer met strooisel	0	245	264	250	298	305	318	325	337	332	322	317	320	315	317	310	311	321	319	
Aanvoer met ruwvoer	0	60	118	173	230	281	347	392	462	549	636	720	822	903	1005	1087	1129	1237	1293	
Aanvoer met krachtvoer	0	64	127	186	255	322	415	498	612	697	757	833	926	992	1078	1139	1171	1260	1298	
Vastgelegd in melk	0	36	64	104	134	162	212	274	323	380	443	502	553	606	658	725	738	775	824	
Vastgelegd in compost	0	288	365	374	483	548	606	605	693	735	732	758	845	869	941	929	955	1079	1061	
Vastgelegd in drijfmest	0	46	80	129	165	198	261	336	394	464	540	610	670	736	800	882	918	964	1025	
Totaal aangevoerd	0	370	509	608	782	908	1079	1214	1411	1578	1715	1870	2068	2211	2400	2536	2611	2818	2910	
Totaal vastgelegd	0	370	509	608	782	908	1079	1214	1411	1578	1715	1870	2068	2211	2400	2536	2611	2818	2910	
Verlies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabel 12

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

Balanspost	Datum																		
	2013			2014															
	2-12	17-12	30-12	14-1	28-1	10-2	3-3	25-3	15-4	6-5	27-5	17-6	9-7	29-7	19-8	9-9	19-9	7-10	22-10
Aanvoer met strooisel	0	1320	1505	1330	1523	1584	1692	1598	1682	1674	1639	1564	1623	1603	1615	1596	1532	1630	1671
Aanvoer met ruwvoer	0	478	1000	1365	1764	2178	2814	3108	3837	4494	5118	5496	6370	6969	7670	8307	8272	9137	9635
Aanvoer met krachtvoer	0	151	317	432	583	753	1031	1209	1554	1792	1957	2065	2347	2511	2708	2861	2813	3044	3159
Vastgelegd in melk	0	57	98	167	218	260	332	450	523	612	708	822	886	970	1057	1160	1225	1274	1343
Vastgelegd in compost	0	1634	2291	2234	2710	3135	3765	3530	4304	4722	4968	4788	5682	5971	6410	6635	6033	6966	7248
Vastgelegd in drijfmest	0	258	433	727	942	1119	1440	1936	2246	2626	3037	3516	3772	4142	4525	4969	5359	5571	5875
Totaal aangevoerd	0	1949	2822	3127	3871	4514	5537	5915	7073	7960	8714	9125	10341	11083	11992	12764	12617	13811	14466
Totaal vastgelegd	0	1949	2822	3127	3871	4514	5537	5915	7073	7960	8714	9125	10341	11083	11992	12764	12617	13811	14466
Verlies	0	0	0	0	0	0	0	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
info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 885



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.