

Abstract

In order to ascertain the amount of manure applied to a farmer's arable land, it is sometimes necessary to measure the amount of liquid manure stocked on a farm. This report provides the reader insight into possible ways of measuring an amount of stored liquid manure in on-farm storage facilities.

Key words: Manure, storage, volume measurement

Inhoud

Abstract	3
Inhoud	5
1 Inleiding	6
2 Beschrijving van typen opslagsystemen	7
3 Overzicht beschikbare technieken	8
3.1 Algemeen	8
3.2 Technieken voor het meten van de mesthoogte	8
3.2.1 Peilstok	8
3.2.2 Vlotter	9
3.2.3 Radar meting	9
3.2.4 Gevoerde radar	9
3.2.5 Radiometrische meting	10
3.2.6 Hydrostatische meting	10
3.2.7 Ultrasoon meting	11
3.2.8 Capaciteitsmeting	11
3.2.9 Lasermeting	11
3.2.10 Samenvattend overzicht	12
3.3 Methoden voor oppervlaktemetingen	13
3.4 Alternatieve methoden voor volumebepaling	13
3.4.1 Volumebepaling met een meetgas.	13
3.4.2 Volumebepaling door middel van 3D meting met een camera.	14
3.4.3 Volumebepaling door middel van 3D meting met een laser.	15
4 Inpassing in de praktijk	17
Bijlage 1: Bepalen van de functie O(H)	19

1 Inleiding

Per 1 januari 2006 zal in Nederland een stelsel van gebruiksnormen geïntroduceerd worden als onderdeel van het nieuwe mestbeleid. Binnen dit stelsel wordt, anders dan in MINAS, rekening gehouden met de op een bedrijf aanwezige voorraad dierlijke mest (brief van de minister van LNV aan de Tweede Kamer, d.d. 19 mei 2004). Het gebruik van dierlijke mest op een bedrijf wordt berekend uit de productie, de aanvoer en afvoer van mest en de voorraadverschillen. Bij een toename van de voorraad op een veehouderijbedrijf hoeft dit bedrijf minder mest af te voeren. Bij toename van de voorraad op een akkerbouwbedrijf mag dit bedrijf meer mest aanvoeren.

Vanaf 1 januari 2005 zullen veehouders een opslagcapaciteit moeten hebben die gelijk is aan de mestproductie van een half jaar. Dit betekent dat de aanwezige voorraad dierlijke mest aan het eind van het jaar op veel bedrijven ongeveer de helft van de totale productie zal bedragen. Gezien deze omvang is het voor een juiste berekening van het mestgebruik noodzakelijk om een betrouwbaar beeld te hebben van de voorraad dierlijke mest aan het einde van een jaar.

Doel van het project is het verkrijgen van een overzicht van beschikbare technieken die in theorie gebruikt kunnen worden bij het vaststellen van een voorraad drijfmest in opslag. Het resultaat moet dienen als basis om te beslissen welke technieken in het kader van het geschetste stelsel van gebruiksnormen kunnen worden toegepast.

In hoofdstuk 2 worden enkele strategieën besproken waarbinnen de volumemetingen van de mestopslagen invulling kunnen krijgen. Na een beschrijving van veel voorkomende typen opslagsystemen voor drijfmest in hoofdstuk 3, worden enkele elementen rond het opslagsysteem aangegeven die van belang zijn voor de volumebepaling. In hoofdstuk 4 worden algemeen beschikbare technieken beschreven welke kunnen worden toegepast voor het meten van volumina. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de wijze waarop deze technieken in de praktijk gebruikt kunnen worden.

2 Beschrijving van typen opslagsystemen

Voor de opslag van drijfmest worden de volgende typen opslagen onderscheiden:

- **Mestkelder**
Kelder onder de stal. Via openingen in de vloer van de stal komen mest en urine in de kelder samen.
- **Silo**
Silo op het veebedrijf. Mest wordt periodiek uit de mestkelder gepompt naar de opslagsilo. Silo bij de intermediair en in het afzetgebied. Mest wordt vanaf verschillende veebedrijven met transportvoertuigen aangevoerd.
- **Foliebassin**
Foliebassins worden op dezelfde wijze gebruikt als silo's.
- **Mestzak**
Mestzak wordt gebruikt als permanente opslag op het veebedrijf of in het afzetgebied of als tijdelijke opslagvoorziening op het veebedrijf.

Tabel 1 geeft een overzicht van het aantal, de gemiddelde omvang en de totale opslagcapaciteit per type opslag weer.¹ De mestkelder en de mestsilo zijn in aantal en totale capaciteit de belangrijkste opslagsystemen. De gegevens in deze tabel dateren uit 1992. Meer recente informatie over aantallen mestopslagen in Nederland ontbreekt.

Tabel 1 Typen opslagsystemen voor drijfmest met hun aantal, gemiddelde omvang en totale capaciteit in 1992 (Braam 2000).

Opslagsysteem	Aantal	Gemiddelde omvang (m ³)	Totale capaciteit (x10 ⁶ m ³)
Mestkelder	18 500	1 300	24,0
Silo	10 000	700	7,0
Foliebassin	1 800	700	1,3
Mestzak	700	600	0,4

Er doen zich verschillende situaties voor bij de opslag van mest in de praktijk. Voor elke situatie zal een methode voor het bepalen van de mestvoorraad beschikbaar moeten zijn.

- | | |
|--|--|
| <p>1 Mestkelder</p> <p>1a Bekende afmetingen</p> <p>1b Onbekende afmetingen</p> | <p>3 Foliebassin</p> <p>3a Verticale wanden</p> <p>3b Hellende wanden</p> |
| <p>2 Silo</p> <p>2a Vlakke vloer</p> <p>2b Hellende vloer</p> | <p>4 Mestzak</p> <p>4 Niet vormvast</p> |

¹ Braam, R. *Betonnen opslagsystemen voor mengmest in Agribeton*, jaargang 3, nr. 2, p. 14-17, 2000

3 Overzicht beschikbare technieken

3.1 Algemeen

Ten behoeve van de administratie van mest en mineralen moet de boer zelf kunnen schatten hoeveel mest hij in opslag heeft. Hij moet dit opgeven op zijn bedrijfsbalans. De overheid wil controleren of deze opgave juist is. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vragen: “Welke middelen heeft de boer voor het doen van een vrij nauwkeurige meting (als hij het goed wil doen)?” en “Welke middelen zijn voldoende nauwkeurig voor de overheid voor haar controle taak?”

Het meten van een vloeistofvolume komt in het algemeen neer op het meten van de oppervlakte van de ruimte waarin zich de vloeistof bevindt en de hoogte van het vloeistofniveau, waarna het volume kan worden berekend door vermenigvuldiging (zie vergelijking 1 in bijlage I).

3.2 Technieken voor het meten van de mesthoogte

Voor de inventarisatie van technieken voor het meten van de mesthoogte werden twee jaargangen van het procestechnologisch tijdschrift “Chemie-Anlagen und Verfahren”, Zeitschrift für chemie en pharmatechnik doorgenomen op mogelijke producenten en oplossingen voor het meten van grote volumina. Daarnaast werd op internet gezocht in verschillende zoekmachines op (groot) volume metingen (zowel in het Engels als Nederlands). Tevens werd geput uit eigen en andermans ervaringen op het gebied van mestopslagen. Voor de in dit rapport gepresenteerde technieken is Endress+Hauser B.V. te Naarden de belangrijkste leverancier.

3.2.1 Peilstok

Bij eenvoudige meetmethoden zoals bij de toepassing van een peilstok moet voldoende aandacht besteed worden aan het gebruik. Er dient gelet te worden op het recht insteken, het voldoende diep insteken en het aflezen.

Voordelen van deze meting:

- Eenvoudig en goedkoop
- Mobiel
- Heeft geen aanvullende voorzieningen nodig

Nadelen van deze meting:

- Bij schuim op de mest is een peilstok lastig af te lezen
- Moet tussen de roosters geprikt kunnen worden
- Bij peiling moet rekening gehouden worden met schuine putwand

3.2.2 Vlotter

Eenvoudige, mechanische meetmethoden zoals bv. het gebruik van een vlotter zijn zeer geschikt voor de boer zelf om de voorraad in de tijd te kunnen volgen. Deze techniek is vooral geschikt om te worden toegepast in silo's, en kan ook worden toegepast in kelders.

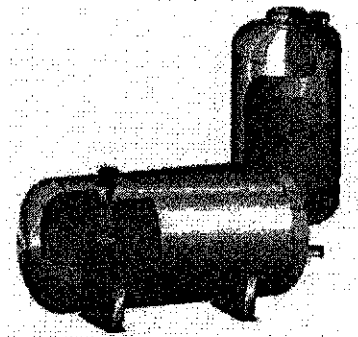
Nadeel van deze methoden:

- De meetopstelling is niet mobiel
- De meetopstelling is niet gemakkelijk en snel te installeren voor instantaan gebruik, waardoor deze minder geschikt is voor een controleur.

3.2.3 Radar meting

Hoogfrequente radarpulsen worden richting het vloeistofoppervlak gestuurd. Het getroffen oppervlak kaatst deze pulsen terug. De afstand wordt berekend uit de tijd tussen afgeven en detecteren van de pulsen. Meetbereik tot 20 meter.

Prijsindicatie: € 1500 - € 2000 (excl. BTW, afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid (respectievelijk 10 en 3 mm)).



Figuur 3: Radar meting

Voordeel van deze meting:

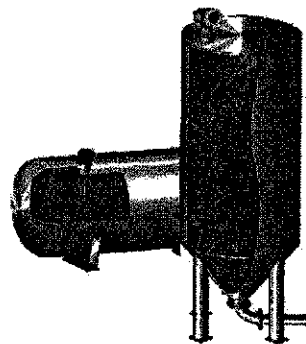
- Ongevoelig voor schuim (radarpuls wordt hierdoor niet gehinderd).

Nadeel van deze meting:

- De hoogte wordt niet uitgedrukt ten opzichte van de bodem.
- Nog niet als handbediend apparaat verkrijgbaar.

3.2.4 Gevoerde radar

Op het meetpunt is een verticale draad gespannen tot op de bodem van de opslagruimte. Hoogfrequente radarpulsen worden langs deze draad gestuurd. Het getroffen vloeistofoppervlak kaatst deze pulsen terug. De afstand wordt berekend uit de tijd tussen afgeven en detecteren van de pulsen.

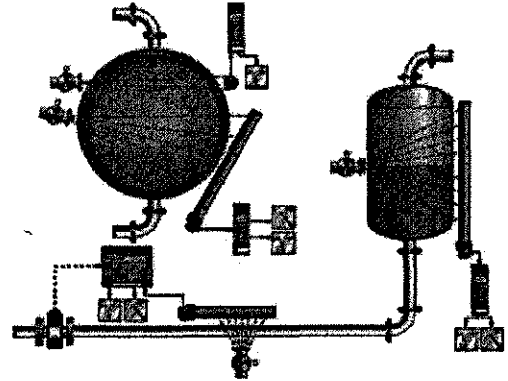


Figuur 2: Gevoerde radar

Voordelen en nadelen van deze methode zijn gelijk aan die van de radarmeting.

3.2.5 Radiometrische meting

Een gammabron straalt vanaf de zijkant door de te meten vloeistof. Al naar gelang de tussenliggende stoffen (vloeistof of lucht) treedt er demping op van deze straling. De totale hoeveelheid straling wordt gemeten met een Geiger Müller telbuis. Door de demping kan het vulvolume worden bepaald of kan een debietmeting of maximum niveaudetectie worden verricht (ook weergegeven in figuur 4).



Figuur 4: Radiometrische meting

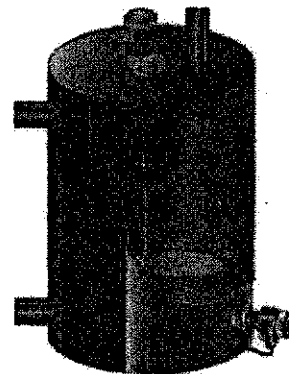
Nadelen van deze meting:

- Straling
- Dwars geplaatste zender en ontvanger niet altijd mogelijk

3.2.6 Hydrostatische meting

Met behulp van een drukmeter wordt de druk gemeten die de vloeistof uitoefent op de bodem van de opslagruimte. Deze druk is lineair afhankelijk van de hoogte van de vloeistof boven het meetpunt.

De drukopnemer kan naast de weergegeven situatie in figuur 5 ook worden geplaatst op de punt van een meetstok welke in de mest wordt gestoken. Ook zijn uitvoeringen beschikbaar waar de drukopnemer via een kabel in de vloeistof wordt gebracht



Figuur 5: Hydrostatische meting

Prijsindicatie: rond de € 1100,- (excl. BTW).

Voordeel van deze methode:

- Met deze methode wordt het gewicht van de bovenstaande massa gemeten. Samen met de analysecijfers levert dit direct een getal voor het aantal kg N en P.

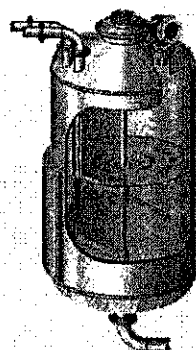
Nadeel van deze methode:

- Moet op de bodem gemeten worden

3.2.7 Ultrasoon meting

Geluidsgolven worden uitgezonden richting het vloeistofniveau, waar ze terugkaatsen. De zender is tevens ontvanger van het signaal. Uit de tijd die een geluidsgolf onderweg is, wordt de hoogte berekend.

Prijsindicatie: rond de € 300 tot € 1000 (excl. BTW, afhankelijk van meetbereik: 5 – 25 m.)



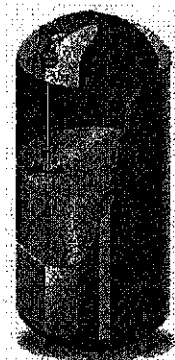
Figuur 6: Ultrasoon meting

Nadeel van deze methode:

- Schuimvorming dempt het signaal, waardoor deze meettechniek niet zondermeer kan worden toegepast bij elke mestsoort.

3.2.8 Capaciteitsmeting

De vulhoogte wordt gemeten met een als condensator uitgevoerde sonde welke tot op de bodem in de vloeistof steekt. De capaciteit van de condensator is afhankelijk van het medium tussen de sonde en de buitenwand. Door stijging van het volume wordt de zich hier bevindende lucht vervangen door vloeistof, waardoor de gemeten capaciteit verandert.



Figuur 1: Capaciteitsmeting

Prijsindicatie: € 1150 (excl. BTW).

Voordeel van deze methode:

- De methode meet de afstand vanaf de bodem tot het vulniveau.

Nadeel van deze methode:

- Vervuiling tussen sonde en buitenwand heeft veel invloed op de gemeten capaciteit. Dit maakt deze methode minder geschikt voor gebruik in drijfmest.

3.2.9 Lasermeting

De vulhoogte wordt gemeten met een laser afstandsmeter. Voor een goed resultaat dient de laser gericht te worden op een reflecterende ondergrond. Als de absorptie van het laserlicht door de mest te groot is, dan kan gebruik gemaakt worden van een drijver met een reflector.

Voordeel van deze methode:

- Licht, goedkoop, gemakkelijk mee te nemen

3.2.10 Samenvattend overzicht

In onderstaande tabel wordt een samenvattend overzicht gegeven van de in dit hoofdstuk beschreven technieken.

Techniek	Meetprincipe	Voordelen	Nadelen	Prijsindicatie
Peilstok	Directe aanwijzing niveau op stok	Eenvoudig Goedkoop Mobiel	Schuim op mest maakt aflezen vloeistofpeil moeilijk	20
Vlotter	Drijverbeweging wordt mechanisch omgezet een stand van een wijzer.	Eenvoudig Goedkoop	Meetopstelling is niet mobiel of snel te installeren voor snel gebruik	150
Radar en gevoerde radar	Reflectie van radar signaal: meting van tijd tussen zenden en weer ontvangen	Ongevoelig voor schuim Nauwkeurig (3-10 mm)	Hoogte wordt niet uitgedrukt ten opzichte van de bodem. Niet handbediend	1500-2000
Radiometrisch	Partiële absorptie van radioactieve straling	-	Straling Plaatsing zender en ontvanger moeilijk	-
Hydrostatisch	Druk waterkolom boven opnemer	Meting gewicht in plaats van volume (beter voor bepaling totaal aan mineralen)	Op bodem meten	1100
Ultrasoon	Reflectie van geluid: meting van tijd tussen zenden en ontvangen	Handheld verkrijgbaar	Schuimvorming dempt het terugkerende signaal	300-1000
Capaciteitsmeting	Detectie van de verandering van de geleidbaarheid tussen twee geleiders	Meting van de afstand vanaf de bodem tot het vulniveau	Vervuiling tussen de geleiders geeft slechte meetresultaten	1150
Laser	Reflectie van licht: meting van tijd tussen zenden en ontvangen	Licht Goedkoop Gemakkelijk mee te nemen	Duur	

3.3 Methoden voor oppervlaktemetingen

Oppervlaktemetingen kunnen op drie manieren worden verricht.

1. Opmeten aan de hand van bouwtekeningen
2. Opmeten in de praktijk met behulp van een meetlint
3. Opmeten in de praktijk met behulp van een laser

Methode 1 is het meest praktisch, omdat metingen in een praktijksituatie met dieren in de stal minder makkelijk uit te voeren zijn, en deze methode als enige goed uitgevoerd kan worden door één persoon.

Als het oppervlak van een mestopslag bekend is, dan kan met een meting van de mesthoogte worden volstaan.

3.4 Alternatieve methoden voor volumebepaling

3.4.1 Volumebepaling met een meetgas.

Het volume van een afgesloten ruimte V kan worden gemeten door een bekende hoeveelheid G van een gemakkelijk te detecteren gas goed te mengen met de lucht in deze ruimte. Uit de gemeten concentratie C van het gas volgt het volume via de formule $V = G/C$. Een hoeveelheid mest wordt bepaald door een verschilmeting: $V_{\text{totaal}} - V_t = V_{\text{mest}}$

Voordelen van deze methode:

- Ook onregelmatig gevormde ruimten zijn meetbaar.
- Er is geen visuele inspectie nodig voor het bepalen van het volume.
- De gebruikte materialen in deze methode zijn goedkoop (< € 50,-)

Nadelen van deze methode:

- Er is een nulmeting nodig voor het bepalen van V_{totaal} .
- De ruimte dient geheel te zijn afgesloten (bij kelders: ook roostervloer dicht).
- Veel manuren nodig om de ruimte af te sluiten.

3.4.2 Volumebepaling door middel van 3D meting met een camera.²

Uiterste randen van een object worden aangeraakt met een meetinstrument dat voorzien is van een infrarood camera. Op het moment van aanraken bepaalt de software in het instrument de positie van de probe aan de hand van de beelden van de camera (welke is gericht op enkele vast opgestelde punten figuur 2). Aan de hand van de 3D coördinaten kan een volumeberekening worden uitgevoerd.

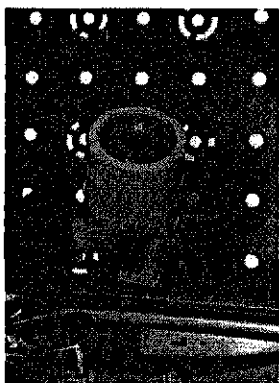


Fig. 7 ProCam meetinstrument

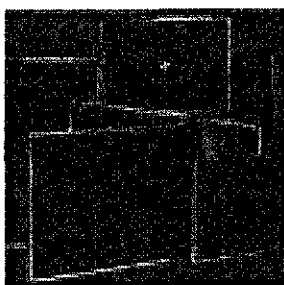


Fig. 8 Platen voor positiebepaling met camera

Voordelen van deze methode:

- Een nauwkeurige schatting is mogelijk.
- Snel, eenvoudig, mobiel.

Nadelen van deze methode:

- Relatief dure instrumenten en software.
- Maximale afmetingen vereisen meerdere referentiepunten
- Niet toepasbaar voor ontoegankelijke ruimten (kelders).
- Object moet rondom benaderbaar zijn.

² http://www.accurmeasure.com/targetless_photogrammetry.htm

3.4.3 Volumebepaling door middel van 3D meting met een laser.³

Het apparaat scant de randen van een object of kan ingezet worden voor afstandsmeting. De meetkop detecteert het tijdsverschil tussen uitgaande en teruggekaatste modulatie-eigenschappen van laserlicht.

Door te meten vanaf verschillende (bekende) kanten, kunnen 3D coördinaten worden bepaald en kan een volumeberekening worden uitgevoerd.

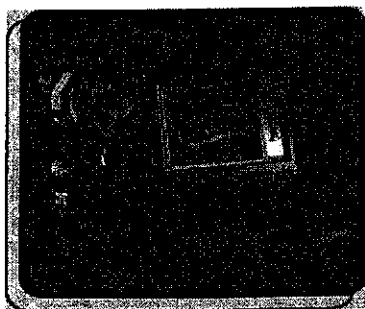


Fig. 9 Laser tracker

Voordelen van deze methode:

- Een nauwkeurige schatting is mogelijk.
- Snel, eenvoudig, mobiel.

Nadelen van deze methode:

- Relatief dure instrumenten en software.
- Maximale afmetingen nog niet bekend.
- Niet toepasbaar voor kelders.
- Object moet rondom benaderbaar zijn.

³ <http://www.apisensor.com/tracker1plus.html>

4 Inpassing in de praktijk

De in hoofdstuk 3 beschreven hoogtemetingen kunnen goed worden gebruikt voor het bepalen van een volume aan de hand van de eerder beschreven methode waarbij gebruik gemaakt wordt van meetgegevens die worden verzameld tijdens het legen van de opslagruimte. Vooral de radar en ultrasoon sensoren kunnen goed worden vastgezet, zijn ongevoelig voor vervuiling en geven een éénduidige aflezing, waarbij de invloed van schuim op de uitlezing van de ultrasoon-sensor nog bepaald moet worden.

Geometrie	Aanpak	Techniek	Voordelen	Nadelen
Mestkelder				
afmeting bekend	Hoogtemeting H,	Peilstok	Eenvoudig, mobiel	Bij schuim moeilijk af te lezen
afmeting onbekend	Lengte en breedte of $O(H)$ Hoogtemeting H	Meetlint Laser ΔV Peilstok	Eenvoudig Nauwkeurig Eenvoudig, mobiel	Moeilijk met dieren in de stal Kosten Weging vracht (meerdere keren) Bij schuim moeilijk af te lezen
Silo				
afmeting bekend	Hoogtemeting H,	Peilstok Radar Laser	Eenvoudig, mobiel Nauwkeurig Nauwkeurig	Onhandig bij hoge silo's Kosten Kosten
afmeting onbekend	Hoogtemeting H, Omtrek=> $O(H)$	Peilstok Radar Meetlint	Eenvoudig, mobiel Nauwkeurig Eenvoudig, mobiel	Onhandig bij hoge silo's Kosten
Foliebassin				
afmeting bekend	Hoogtemeting,	Peilstok	Eenvoudig, mobiel	Positioneren moeilijk
afmeting onbekend	Lengte en breedte Taludhelling Mesthoogte	Meetlint ΔV Peilstok	Eenvoudig, mobiel Eenvoudig, mobiel	Weging vracht (meerdere keren) Positioneren moeilijk
Mestzak				
onbekend	Meet 3D vorm	Laser	Nauwkeurig	3D coördinaten meten met camera en/of laser

De selectie van technieken die in bovenstaande tabel zijn weergegeven, is gebaseerd op een afweging van de in hoofdstuk 3 aangegeven voor en nadelen en hun prijs. Een aantal extra punten die pleiten voor specifieke selectie van een techniek zijn:

- De toegankelijkheid van een ruimte. De specifieke vorm van een kelder laat zich in sommige gevallen niet *in-situ* meten, de aanwezigheid van dieren in een stal kan het opmeten van het kelderoppervlak bemoeilijken waardoor meting met een laser wordt geprefereerd boven het doen van een meting met een meetlint.
- Praktische bruikbaarheid. Bij silo's van meer dan 5 meter hoog is het gebruik van een peilstok af te raden.
- Als eenvoudige technieken niet kunnen werken wordt uitgeweken naar meer geavanceerde technieken om de meting wél voor elkaar te krijgen. Deze technieken mogen in dit geval wat meer kosten, zoals bijvoorbeeld het meten van de drie dimensionale vorm van een mestzak met behulp van lasermetingen.

Als ΔV gemeten moet worden, dan wordt de oppervlaktefunctie $O(H)$ bepaald aan de hand van hoogtemetingen en het meten van het volume van uitgaande vrachten mest. Deze methode is nader uitgewerkt in bijlage 1.

Bijlage 1: Bepalen van de functie O(H)

Algemeen

Het meten van een vloeistofvolume V komt in het algemeen neer op het meten van de oppervlakte O van de ruimte waarin zich de vloeistof bevindt en de hoogte H van het vloeistofniveau, waarna het volume kan worden berekend met behulp van vergelijking [1].

$$V = O \times H \quad [1]$$

Hoogte H wordt bepaald uit een verschilmeting tussen de situatie leeg H_0 en vol H_x , beide gemeten ten opzichte van een referentiepunt. De fout die bij de hoogtemeting gemaakt wordt is dus twee maal de fout zoals opgegeven door de fabrikant van het gebruikte apparaat voor de hoogtemeting.

Oppervlakte O kan een vaste waarde hebben, maar kan ook afhankelijk zijn van de hoogte h . Vooral de nieuwere mestopslagen hebben vaak een geometrie die afwijkt van een rechthoekige ruimte. Voor zulke systemen is het volume dan ook uit te drukken als integraal [2].

$$V = \int_0^x O(h) \delta h \quad [2]$$

Een alternatief voor de leegstandmeting H_0 kan wellicht worden verkregen door een koppeling te leggen tussen twee meetstanden die vóór en na een afgehaalde vracht X worden genoteerd. De massa (of volume) van de vracht wordt gekoppeld aan het hoogteverschil ΔH bij een bepaalde beginhoogte. Door het bijhouden van meerdere van dergelijke metingen kan inzicht verkregen worden over de volumeverandering ΔV die hoort bij een hoogteverandering ΔH die hoort bij een zekere vulhoogte H . Dit leerproces geeft kennis van de oppervlaktefunctie [3]:

$$O(H) = \frac{\Delta V}{\Delta H} \xrightarrow{\text{Leerproces}} O(H) = \frac{\delta V}{\delta H} \xrightarrow{\text{Integreren}} V = \int_0^x O(H) \delta H \quad [3]$$

Op deze wijze kunnen ook onregelmatig gevormde ruimten worden bemeten, mits er voldoende verschilmetingen zijn gedaan. In de praktijk kan dit inhouden dat tijdens het leegrijden van een put er meerdere hoogtemetingen worden verricht en dat deze worden teruggekoppeld met de volumina van de uitgenomen vrachten.

Met deze methode is het meten van het volume drijfmest gereduceerd tot het meten van de hoogte van de mest. Als alternatief blijft natuurlijk ook het handmatig opmeten van het oppervlak of het bepalen van de oppervlakte(-functie) uit de bouwtekeningen van de mestopslag. Kanttekening bij alle procedures is dat bij fysieke verandering van de opslagmogelijkheid een hernieuwde bepaling van de oppervlakte(-functie) noodzakelijk is.

De eerste stap: Indirecte bepaling van de vorm van de kelder.

Als tijdens het uitrijden van de mest uit de kelder de volumina van de vrachten worden gekoppeld aan de gemeten hoogteverschillen, dan ontstaat er een globale indruk van de vorm van de kelder volgens figuur 10.

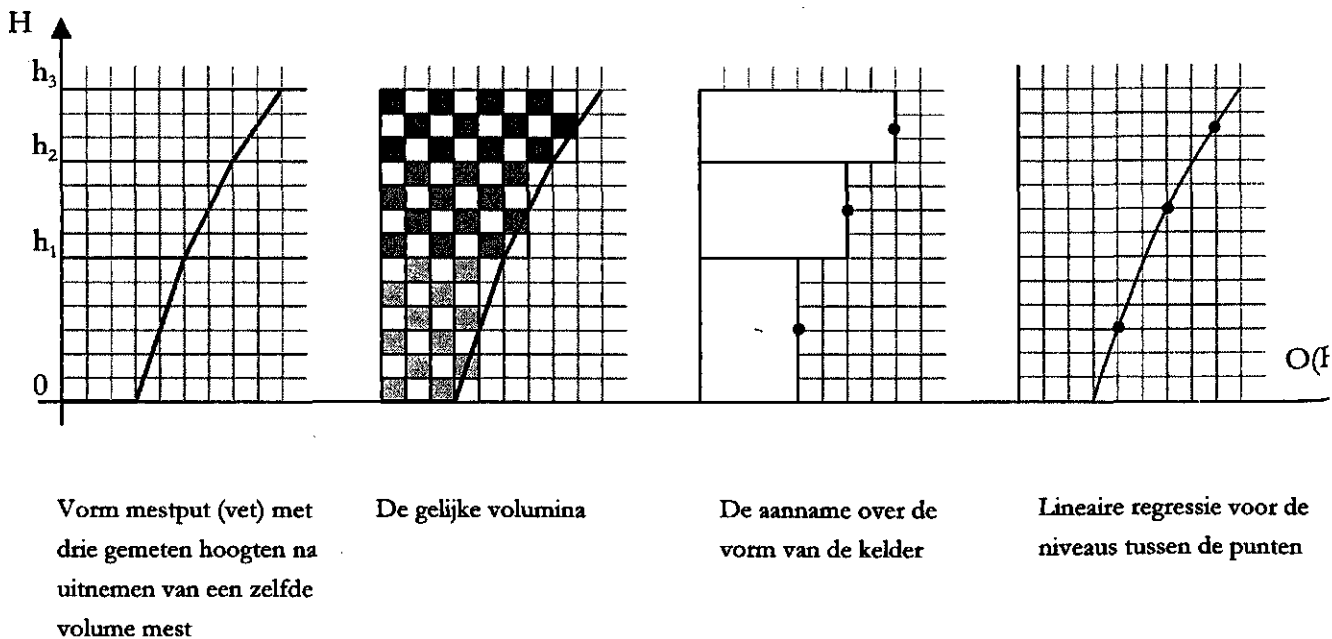


Fig. 10 De eerste bepaling van de vorm van de kelder

Met behulp van deze globale vorm kan een schatting gemaakt worden van de hoeveelheid mest in opslag als de mestruimte is gevuld tot een hoogte X .

Stap twee: schatting van het volume op hoogte X .

Tussen twee meethoogten behorende bij het uitrijden van één vracht mest met volume V en volumefout ΔV wordt aangenomen dat het oppervlak $O(H)$ van de mestkelder constant is. In deze procedure wordt aangenomen dat bij veel bepalingen van het volume op een onbekende hoogte X , de vereenvoudigde vorm van de mestkelder gemiddeld een goede waarde zal geven. De situatie is schematisch weergegeven in figuur 11.

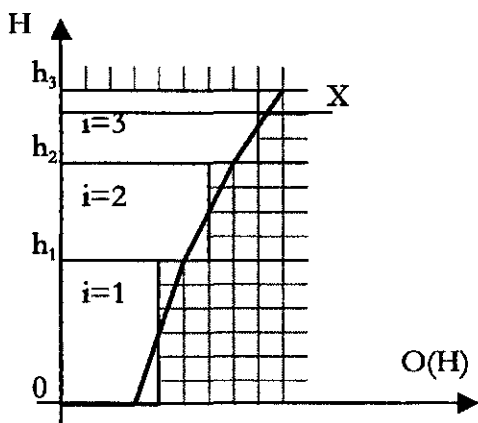


Fig. 11: Schatting van het onbekende volume op hoogte X

De schatting van het volume op hoogte X is de som van de gemeten gehele volumina onder de gemeten hoogte X (in dit geval de som van A en B), uitgebreid met een gedeelte van het volume C volgens vergelijking 4:

$$V(X) = (X - h_j) \cdot O(h_{j+1}) + \sum_{i=1}^j V(i) \quad [4]$$

In figuur 11 is de situatie getekend voor $j=2$.

Stap drie: schatting van de fout in het volume op hoogte X.

De fout die wordt gemaakt bij het bepalen van het mestvolume op een willekeurige hoogte X is te herleiden tot een sommatie van de eerder gemeten volumina onder hoogte X, uitgebreid met de fout voor het deelvolume daar bovenop volgens:

$$\Delta V(X) = \sum_{i=1}^j \Delta V(i) + \Delta\{(X-h_j) \cdot O(h_{j+1})\} \quad [5]$$

De waarden van $O(h_i)$ (de positie van de verticale lijnen in het meest rechtse schema van figuur 10) hebben een fout welke voortkomt uit de gedane metingen van de vrachten met bijbehorende hoogten H. Uit vergelijking 1 volgt voor de relatieve fout $\Delta O/O$ en de absolute fout in de oppervlakte ΔO :

$$\frac{\Delta O(h_i)}{O(h_i)} = \frac{\Delta V(h_i)}{V(h_i)} + \frac{\Delta h_i}{h_i} \xrightarrow{\text{herleidbaar tot}} \Delta O(h_i) = \frac{\Delta V(h_i)}{h_i} + \frac{\Delta h_i \cdot V(h_i)}{h_i^2} \quad [6]$$

Oplossen van vergelijkingen 5 en 6 levert:

$$\Delta V(X) = \sum_{i=1}^j \Delta V(i) + \left(\frac{\Delta X + \Delta h_j}{h_{j+1} - h_j} \right) \cdot V(j+1) + (X - h_j) \cdot \left\{ \frac{\Delta V(j+1)}{h_{j+1}} + \frac{\Delta h_{j+1} \cdot V(j+1)}{h_{j+1}^2} \right\} \quad [7]$$

Voorraadschatting in de praktijk

Een inspecteur die de voorraden van een bedrijf moet controleren zal uitgaan van een hoogtemeting X en de voorkennis van de globale vorm van de kelder zoals geschetst in paragraaf 3.1. Dit houdt in dat alle h_i en V_i combinaties met hun respectievelijke fouten bekend zijn. Met behulp van vergelijkingen 4 en 7 zijn dan de mestvoorraad en de fout daarin te berekenen.

Vergelijking 7 kan verder vereenvoudigd worden als de meting van de hoogte met veel meer precisie wordt uitgevoerd als de volumemeting van de vrachten mest die uit de kelder zijn genomen. Zowel Δh_i als ΔX worden dan nul, hetgeen de volgende vergelijking oplevert:

$$\Delta V(X) = \sum_{i=1}^j \Delta V(i) + (X - h_j) \cdot \left\{ \frac{\Delta V(j+1)}{h_{j+1}} \right\} \quad [8]$$

Dit houdt in dat de uiteindelijke relatieve fout in de bepaling van de hoeveelheid mest volgens deze methode minstens even groot zal zijn als de relatieve fout in de meting van 1 vracht afgevoerde mest. Voor geijkte weegsystemen bedraagt de relatieve fout 1%.