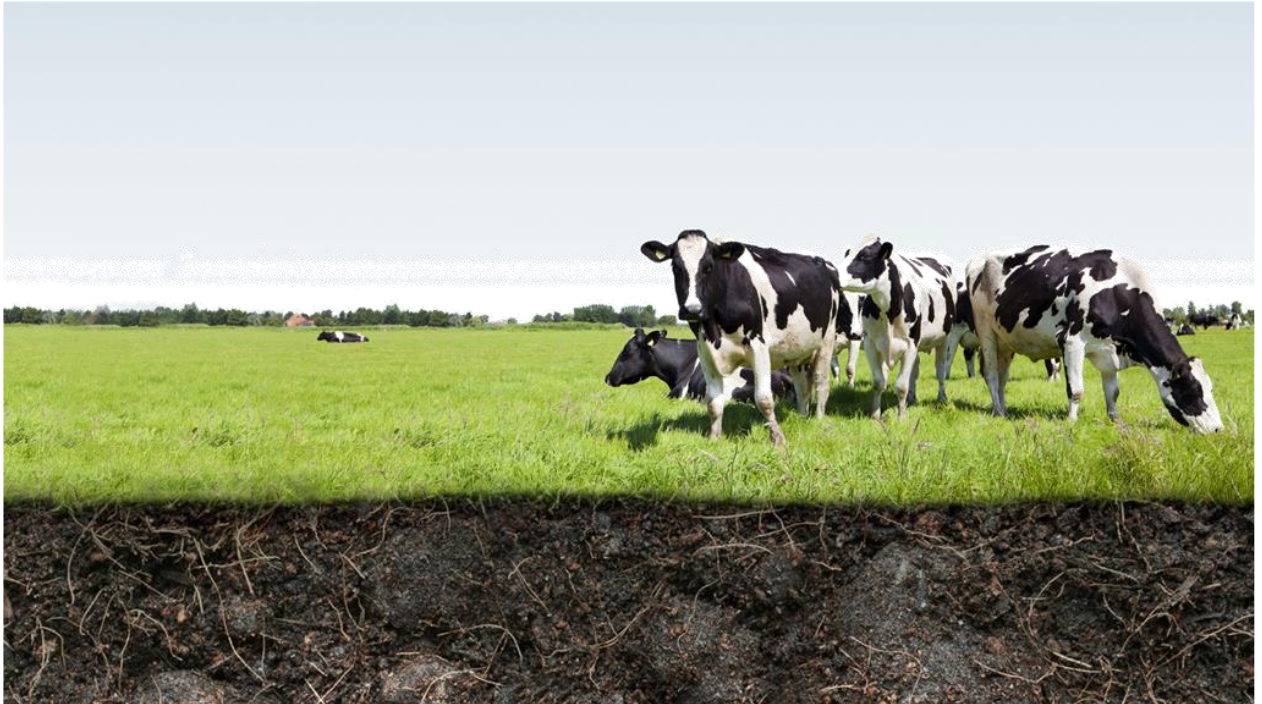




De bodem in relatie tot de graskuil

Arjen Wilting

Aeres Hogeschool Dronten

Afstudeerwerkstuk

Relatie bodem -en kuilindex

Auteur:

Naam: Wilting, Arjen
Geboortedatum: 01-01-2000
Adres: De Hullen 7, 7846 TB
Plaats: Noord-Sleen
Klas: 4 DVOc
E-mail: 3029010@aeres.nl
Telefoon: +(31) 623691874

Praktijkbedrijf:

Naam: VIB Consulting
Adres: Lauwers 14, 9405 BL
Plaats: Assen

Gegevens opdrachtgever:

Instelling: Aeres Hogeschool Dronten
Opleiding: Agrarisch Ondernemerschap Dier- en Veehouderij
Adres: De Drieslag 4, 8251 JZ
Plaats: Dronten
Docent: Arthanja Verweij -van Woerden

DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.



Plaats: Noord-Sleen

Datum: 5-2-2023

Voorwoord

Mijn naam is Arjen Wilting en ik ben vierdejaars student agrarisch ondernemerschap dier- en veehouderij aan de Aeres Hogeschool in Dronten. Voor u ligt mijn afstudeerwerkstuk over de relatie tussen de bodem -en kuilindex.

Mijn dank gaat uit naar Alidus Hidding voor het geven van advies en het beschikbaar stellen van de data uit het klantenbestand van VIB-Consulting. Verder wil Arthanja Verweij -van Woerden bedanken voor de verkregen feedback en ondersteuning tijdens het schrijven van mijn afstudeerwerkstuk.

Veel leesplezier.

Arjen Wilting, 2023.

Inhoud

Samenvatting.....	4
Summary	5
1. Inleiding	6
2. Plan van aanpak.....	12
2.1. Materiaal	12
2.2. Methode	13
3. Resultaten.....	14
3.1. Resultaten deelvraag 1.....	14
3.2. Resultaten deelvraag 2.....	14
3.3. Resultaten deelvraag 3.....	15
4. Discussie	17
4.1. Reflectie op onderzoek.....	17
4.2. Vergelijking met literatuur	17
5. Conclusie en aanbevelingen	19
5.1. Conclusie	19
5.2. Aanbevelingen	20
Bronnenlijst	21
Bijlage 1. Bodemindex-invoerbestand	24
Bijlage 2. Bodemindex met gewogen gemiddelden.....	24
Bijlage 3. Kuilindex met gewogen gemiddelden	25
Bijlage 4. Kuilindex met gewogen gemiddelden	25

Samenvatting

VIB-consulting heeft het concept 'indexboeren' ontwikkeld om melkveehouders meer inzicht te geven in de kwaliteit van de bodem en graskuilen. Het doel van een bodem -en kuilindex is om melkveehouders praktische handvatten te bieden zodat eenvoudig te zien is waar kansen en verbeteringen mogelijk zijn. Uit de belangstelling naar de bodem- en kuilindex-waarden van het VIB ontstond de volgende hoofdvraag: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex en resultaten in een kuilindex (ruw eiwit en fosfor -en kalium)'.

In dit onderzoek zijn van zeventien gangbare melkveehouders uit verschillende delen van Nederland bodem -en kuilindexen verzameld. Deze gegevens zijn afkomstig uit de periode van het jaar 2018 tot en met de maand november van het jaar 2022. Een vereiste is dat de indexen op basis van uitgebreide bodem -en kuilonderzoeken van Eurofins Agro zijn ingevuld en zijn verwerkt tot gewogen gemiddelden. Om tot overzichtelijke data te komen zijn de bodemindexen voor: het vermogen om fosfor -en kalium te binden, het vermogen om stikstof te mineraliseren, de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium, de indexwaarde voor het ruw eiwit en de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil gebundeld in één Excel-bestand. Vervolgens zijn deze gegevens in het statistisch programma JASP doormiddel van een lineaire regressieanalyse verwerkt.

In de resultaten is geen significant verband aangetroffen tussen de indexwaarde voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden in de bodem en de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil. Wel is er een significant verband aangetroffen tussen de indexwaarde voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en het ruw eiwit in de graskuil. Ook is er een significant verband aangetoond tussen de indexwaarde voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de kaliumwaarden in de graskuil. Echter bleef een significant verband voor de fosforwaarden in de graskuil uit. Er valt te discussiëren over de betrouwbaarheid van het onderzoek. Het aantal gegevens is beperkt en er is geen rekening gehouden met invloedsfactoren. Desondanks is het melkveehouders aan te raden om raden een bodem -en kuilindex uit te voeren. Door inzicht te krijgen in de bodem en actief te sturen op bodembeheer kunnen betere resultaten in de kuilindex worden gegenereerd. Ten slotte is het voor vervolgonderzoek aan te bevelen meer gegevens te verzamelen en een selectie te maken per grondsoort. Ook is het interessant om rekening te houden met overige factoren die van invloed zijn op de ruw eiwit en fosfor -en kaliumwaarden in een graskuil.

Summary

VIB-consulting has developed the concept of 'index farming' to give dairy farmers more insight into the quality of the soil and grass silage. The purpose of a soil and silage index is to provide dairy farmers with practical tools to easily see where opportunities and improvements can be made. From the interest in soil and silage index values from the VIB, the following main question arose: 'What is the relationship between soil index and results in a silage index (crude protein and phosphorus and potassium)'.

In this study, soil and silage indexes were collected from seventeen common dairy farmers from different parts of the Netherlands. These data are from the period from the year 2018 to the month of November of the year 2022. A requirement is that the indices have been completed based on comprehensive soil and silage surveys by Eurofins Agro and have been processed into weighted averages. To obtain clear data, the soil indexes for: phosphorus and potassium binding capacity, nitrogen mineralization capacity, direct phosphorus and potassium availability, crude protein index value and phosphorus and potassium values in the grass silage were compiled in one Excel file. These data were then processed in the statistical program JASP by linear regression analysis.

In the results, no significant relationship was found between the index value for the ability to bind phosphorus and potassium in the soil and the phosphorus and potassium values in the grass silage. However, a significant relationship was found between the index value for the ability to mineralize nitrogen and the crude protein in the grass silage. A significant relationship was also shown between the index value for direct phosphorus and potassium availability and potassium values in the grass silage. However, a significant correlation for the phosphorus values in the grass silage remained absent. The reliability of the study can be debated. The number of data is limited and influence factors were not taken into account. Nevertheless, dairy farmers are advised to conduct a soil and silage index. By understanding the soil and actively managing soil, better results in the silage index can be generated. Finally, for follow-up research, it is recommended to collect more data and make a selection by soil type. It is also interesting to consider other factors that influence the crude protein and phosphorus and potassium values in a grass silage.

1. Inleiding

Nederland telt in het jaar 2021 ruim 15.000 melkveebedrijven, waar gezamenlijk 1,57 miljoen melkkoeien worden gemolken. Voor het voeden van deze koeien wordt voornamelijk gras verbouwd. Nederland beschikt in het jaar 2021 over bijna 1,2 miljoen hectare voedergewassen, waarvan ruim 0,9 miljoen hectare grasland en ruim 180.000 hectare maisland is (CBS, 2022). Gras vormt een belangrijk aandeel in de eiwit- en nutriëntenvoorziening van melkvee. Naast gras wordt het rantsoen veelal aangevuld met snijmais (Remmelink et al., 2020).

De gemiddelde opbrengst van grasland in het jaar komt neer op 13,1 ton droge stof per hectare. De opbrengst van mais ligt met 16,5 ton droge stof per hectare aanzienlijk hoger dan grasland (WUR, 2022). De opbrengst en kwaliteit van een gewas wordt onder andere bepaald door de bodemeigenschappen. Daarnaast zijn bemesting, bodembeheer en weersomstandigheden belangrijke factoren die van invloed zijn op de opbrengst en kwaliteit van het geoogste gewas (van Dijk et al., 2007). Gezien de toenemende wet- en regelgeving in Nederland en de hoge kunstmest- en krachtvoer prijzen, wordt het voor melkveehouders steeds belangrijker om efficiënt om te gaan met de bodem (Vruchtbarebodem, 2022).

Het belang van efficiënt bodemgebruik wordt ook erkend door het Veeteeltkundig Ingenieurs Bureau (VIB). VIB-consulting is een onafhankelijk adviesbureau dat zich voornamelijk richt op veevoeding, koeien en de bodem. Het VIB geeft aan dat inzicht krijgen in de kwaliteit en kwantiteit van de bodem essentieel is voor melkveehouders. Om dit mogelijk te maken heeft het VIB een tool ontwikkeld, waarmee verschillende bodemeigenschappen gebundeld worden tot een 'bodemindex'. De bodemindex is een onderdeel uit het concept 'Indexboeren'. Het doel van indexboeren is om praktische handvatten te bieden aan melkveehouders. Naast een index op bodemniveau wordt er ook gewerkt met een 'kuilindex'. Een kuilindex geeft op basis van een puntensysteem inzicht in de kwaliteit en kwantiteit van een gras- of maiskuil. Met een bodem- en kuilindex kan inzichtelijk gemaakt worden waar kansen en verbeteringen mogelijk zijn (VIB Consulting, 2021). De toelichting op de bodem- en kuilindex wordt in de volgende paragrafen nader besproken.

De aanleiding voor dit onderzoek komt voort uit de belangstelling naar de bodem -en graskuilindex-waarden van het VIB. Hieruit ontstond de vraag of melkveehouders die een betere bodemindex hebben, ook daadwerkelijk betere resultaten in de kuilindex hebben. Aangezien kuilgras het belangrijkste component in een melkvee rantsoen is wordt in dit onderzoek uitsluitend gekeken naar de bodemindex van grasland. In de bodemindex wordt geen rekening gehouden met bemesting en zijn alleen de mineralen fosfor (P) en kalium (K) opgenomen. Vervolgens worden de relaties tussen de bodemindex en de betreffende gras kuilindex en belangrijke waarden behandeld. Hieruit zal blijken hoe de ruw eiwit (RE) index tot stand komt. Daarnaast wordt ingegaan op de fosfor -en kaliumwaarden, aangezien voor deze waarden geen indexwaarden bestaan worden werkelijke waarden gehanteerd (VIB Consulting, 2021).

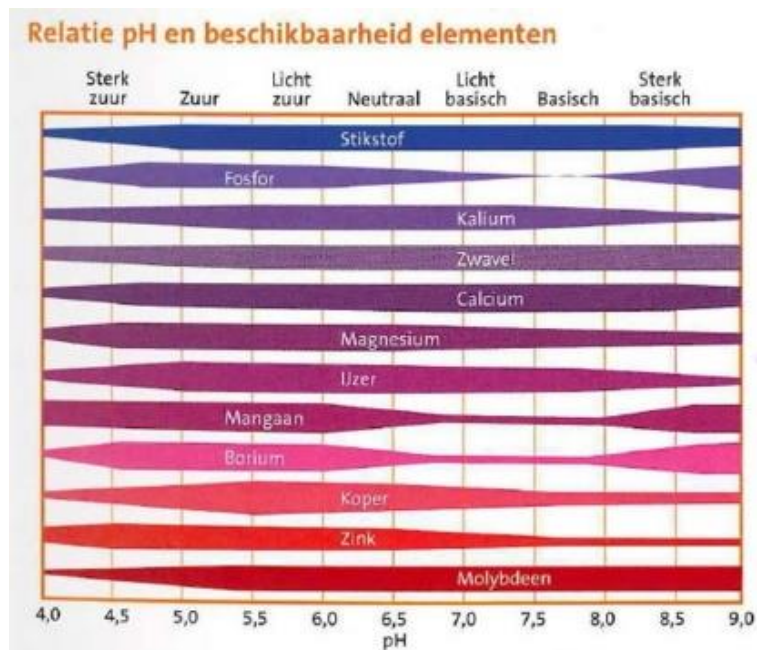
Een bodem kan beoordeeld worden op verschillende bodemeigenschappen, waaronder chemische, biologische en fysische eigenschappen. Deze eigenschappen zijn van invloed op de kwaliteit van de bodem en vormen de basis voor de gewasopbrengsten (Keijzer et al., 2020). Bij het analyseren van een bodem komt veel data beschikbaar. Om snel inzicht te krijgen in deze data kan gebruik worden gemaakt van een bodemindex. In een bodemindex wordt de bodem op vier onderdelen beoordeeld. De betreffende onderdelen zijn: het vermogen om mineralen (fosfor- en kalium) te binden in de bodem, het vermogen stikstof (N) te mineraliseren, de directe plantbeschikbaarheid van kaliumwaarden-en kalium en de bodemstructuur. Deze onderdelen staan ieder op zijn beurt in relatie met de kwaliteit van de graskuil (VIB Consulting, 2021).

Fosfor- en kalium zijn van essentieel belang voor planten en dieren, aangezien deze mineralen anorganische stoffen zijn die niet door organismen kunnen worden aangemaakt (Natura Foundation, z.d.). Kuilgras voorziet het vee voor een belangrijk deel in de fosfor- en kalium behoefte. In hoeverre kuilgras de behoefte voorziet is afhankelijk van het gehalte en de chemische vorm van kaliumwaarden -en kalium. Deze worden bepaald door de bodem-, plant- en managementfactoren (Spears, 1994). Het is voor melkveehouders interessant om de behoefte zo veel mogelijk te voorzien met de fosfor -en kalium die gevormd zijn uit de eigen bodem (Barenburg, 2020). Aangezien het vermogen om fosfor -en kalium te binden in de bodem een indicator is voor de kaliumwaarden -en kaliumwaarden in de bodem en graskuilen. Is het van belang dat hier inzicht in wordt verkregen. De bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden wordt gebaseerd op de volgende kengetallen: het organische stofgehalte (OS), de zuurtegraad (pH), het klei humus complex (CEC) en het lutumgehalte van de bodem (Kabata-Pendias, 2004; Mijn Bodem Index, 2022).

Hoeveel mineralen, waaronder fosfor -en kalium, de bodem kan binden wordt onder andere bepaald door de CEC. CEC staat voor Cation Exchange Capacity en met de CEC wordt de capaciteit uitgedrukt waarmee de bodem in staat is om positief geladen ionen te wisselen met de bodemoplossing. De CEC wordt gevormd door negatief geladen kleimineralen (lutum) en organische stof. Deze negatief geladen ionen zijn in staat om positief geladen ionen te binden. Voorbeelden van positief geladen nutriënten zijn bijvoorbeeld calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+) en natrium (Na^+). Tevens kunnen aluminium (Al^{3+}) en waterstof (H^+) worden gebonden. Dit kan nadelige gevolgen hebben op de beschikbaarheid van mineralen aangezien het de aanwezigheid van nuttige nutriënten in de CEC beperkt (Demey et al., 2014). In welke mate en met welke mineralen de CEC gevuld is, wordt uitgedrukt met de CEC-bezetting. Een bodem met een hoge CEC is in staat om meer nutriënten vast te houden, waaronder mineralen (Ketterings et al., 2007). Aangezien de CEC door de aanwezigheid van kleimineralen, organische stof en de pH wordt bepaald, verschilt de CEC per perceel en grondsoort. Bij bodems met een hogere pH is de CEC in staat om meer nutriënten af te staan dan wanneer de pH laag is. De pH vormt hiermee een belangrijke factor die van invloed is op de levering van nutriënten aan de bodem (Eurofins Agro, 2020).

De pH beïnvloedt verschillende biologische, chemische en fysische eigenschappen en processen in de bodem (Neina, 2019). De mate van de beschikbaarheid van nutriënten is een van deze aspecten die door de pH worden bepaald (Penn & Camberato, 2019). In figuur 1 worden de optimale pH-waarden weergegeven waarbij mineralen het meest efficiënt opgenomen kunnen worden. Hieruit blijkt dat een pH tussen de 5,5 en 6 optimaal is voor de opname van mineralen (LLTB, 2020).

Figuur 1: Relatie pH en beschikbare elementen. Bron (LLTB, 2020).



Daarnaast is de CEC afhankelijk van het aandeel organische stof in de bodem. Organische stof bestaat uit organische materialen die afkomstig zijn uit resten van dode dieren, planten en uitwerpselen van organismen (Eurofins Agro, z.d.-a). Deze organische stoffen zijn te verdelen in makkelijk en moeilijk afbreekbare organische stoffen. De mate waarin organische stof afbreekbaar is, wordt bepaald door de koolstof (C) en stikstof (N) verhouding. Wanneer de C/N-verhouding laag is, is er sprake van een makkelijk afbreekbare organische stof. Als de C/N-verhouding hoog is, wordt de organische stof moeilijker afbreekbaar (Slimmest, 2019). Bij de afbraak van organische stof komen nutriënten beschikbaar, waaronder de mineralen fosfor -en kalium en stikstof. Dit proces wordt mineralisatie genoemd. Makkelijk afbreekbare organische stof draagt hierbij het meeste bij aan de nutriëntenlevering in de bodem (Handboek bodem en bemesting, z.d.). Het organische stofgehalte staat naast de levering van nutriënten ook in verband met het vasthoudend vermogen van nutriënten. Organische stof vormt hiermee een belangrijk component dat met meerdere bodemprocessen in verbinding staat (LLTB, 2020).

Alle nutriënten hebben een eigen functie en leveren een bijdrage aan verschillende processen. In de bodem zijn mineralen bijvoorbeeld van invloed op de wortelgroei, weerstand, vegetatieve groei en de opname van andere mineralen. Deze factoren dragen bij aan de kwaliteit en productie van een gewas (LLTB, 2020). Naast mineralen is ook stikstof een belangrijke nutriënt in de bodem. Stikstof heeft een belangrijke functie in de eiwitsynthese en vormt een belangrijke bouwstof voor een plant. Ruw eiwit is een belangrijke factor die de kwaliteit van een graskuil bepaald (Barenbrug, z.d.). In Nederland wordt gemiddeld tussen de 75 en 100 kg stikstof per hectare gemineraliseerd (Smit & van der Bok, 2005). Hoeveel stikstof er gedurende een jaar door mineralisatie geleverd wordt, geeft het stikstof leverend vermogen (NLV) weer. Het NLV wordt bepaald door het totale aandeel stikstof in de bodem en de C/N-verhouding (Bengtsson et al., 2003). Daarnaast zijn er verschillende biologische en niet-biologische factoren die het vermogen beïnvloeden om stikstof te mineraliseren. Onder deze biologische factoren vallen de micro-organismen in de bodem. Tot de niet-biologische factoren behoren de bodemtemperatuur en het vocht in de bodem (Wang et al., 2004).

Stikstof is van essentieel belang voor de vorming van eiwit en vormt daarmee een belangrijke eigenschap die de kwaliteit van een graskuil bepaald. Om tot het gewenste ruw eiwitgehalte te komen dient er stikstof te worden aangevoerd door bemesting. Stikstofbemesting wordt daarom naast het stikstof leverend vermogen beschouwt als een belangrijke factor die de kwaliteit en gewasopbrengst kan beïnvloeden (Rambaut et al., 2022). Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van klavers. Klavers zijn door de aanwezigheid van *Rhizobium* bacteriën op de wortelknobbeltjes in staat om stikstof uit de lucht te binden en af te geven aan de bodem en andere plantenwortels (Pirhofer-Walzl et al., 2012).

In de kuilindex is het ruweiwit een belangrijke waarde. Deze indexwaarde wordt aan de hand van de eiwitgehalten in de graskuil opgesteld. De eiwitgehalten uit de graskuil dienen in het invoerbestand te worden ingevoerd, waarna er een cijfer in de vorm van een percentage aan het eiwitgehalte wordt toegekend. Deze toekenning vindt plaats in stappen van tien procent. Hierbij krijgt een kuil met een laag eiwitgehalte een indexwaarde van 10 en een kuil met een hoog eiwitgehalte een indexwaarde van 100 (Alidus Hidding, 2022).

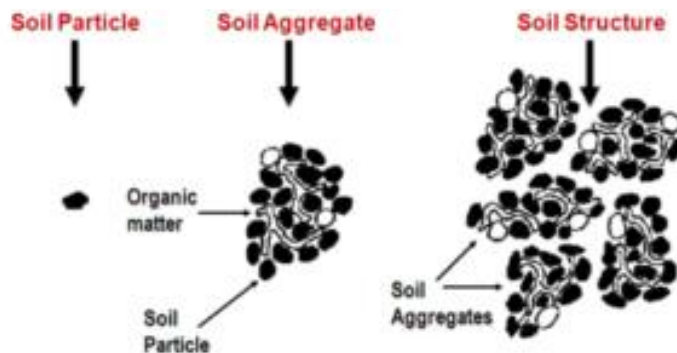
Evenals eiwit zijn fosfor en kalium belangrijke nutriënten die van invloed zijn op de kwaliteit van een graskuil. De fosforwaarden in een graskuil zijn belangrijk aangezien deze een grote bijdrage leveren aan de fosfor voorziening van melkkoeien via voeding (Valk et al., 2000). De mate waarin fosfor -en kalium voorkomen in een graskuil wordt bepaald door de beschikbaarheid van deze nutriënten in de bodem. Fosfor komt in verschillende vormen voor in de bodem. Zo zijn er organische en anorganische P-verbindingen. Organische verbindingen komen voort uit de ontlasting en resten van dieren en planten (Dekker en Postma, 2008). De mate waarin organische kaliumwaarden voorkomt in de bodem wordt mede bepaald door de fysische samenstelling van de bodem. De fysische samenstelling is afhankelijk van de grondsoort en het organische stofgehalte. Organische kaliumwaarden kan net als een gedeelte van het anorganische kaliumwaarden enkel vrijkomen door mineralisatie. Dit zorgt voor stabiele verbindingen die nadelig zijn voor de beschikbaarheid. Het overige deel van anorganische kaliumwaarden is wel oplosbaar in het bodemvocht en is makkelijk op te nemen door planten (Maathuis, 2009). De directe plantbeschikbaarheid van fosfor wordt op een bodemanalyse uitgedrukt als P-PAE (Phosphorus-Plant Available Elements) (Eurofins Agro, z.d.-b).

Zoals aangegeven wordt de aanwezigheid van kalium in een graskuil bepaald door de kalium beschikbaarheid in de bodem. Kalium is een belangrijke voedingsstof voor het gras en komt in verschillende vormen in de bodem voor. De directe plant beschikbare kalium is een vorm van kalium die zich in de bodemoplossing bevindt en direct opgenomen kan worden door de plantenwortels. Dit is slechts een klein gedeelte van het aanwezig kalium in de bodem. De andere vormen van kalium zijn gebonden aan de CEC en kunnen ook door de plant worden opgenomen (Latitha, 2014). De plant beschikbare kalium is bepalend voor de aanwezigheid van kalium in een graskuil. De plantbeschikbaarheid van kalium (K-PAE) wordt evenals de plantbeschikbaarheid van kaliumwaarden vermeld op een bodemanalyse (BLGG AgroXpertus, 2013).

Het is van groot belang dat de CEC een optimale kalium-bezetting heeft. Wanneer er een overmaat aan kalium is, heeft dit nadelige gevolgen voor de nalevering van calcium en magnesium. Daarnaast kan kalium calcium verdringen, dit heeft vervolgens nadelige gevolgen voor de calcium-bezetting. De calcium-bezetting is van groot belang voor de bodemstructuur aangezien het een nutriënt is dat het meeste bij draagt aan een sterke en stabiele verbinding tussen kleideeltjes (Rowley et al., 2018). Kleideeltjes zijn negatief geladen en kunnen, zoals eerder aangegeven, positief geladen kationen binden. Deze binding zorgt ervoor dat er een diffuse dubbellaag wordt gevormd. Hierdoor worden negatief geladen anionen geneutraliseerd en komt de afstotende eigenschap van negatief geladen kleideeltjes te vervallen. Daarnaast vormen de kationen onderling bindingen wat resulteert in micro-

aggregaten. Door de vorming van met organische stof samenhangende bodemdeeltjes, ook wel micro-aggregaten genoemd ontstaat er een stabiele kruimelstructuur. In figuur 2 wordt fictief weergegeven hoe micro-aggregaten oftewel 'soil aggregate' bijdragen aan een bodemstructuur. Een stabiele kruimelstructuur geeft aan dat de bodemdeeltjes aan elkaar binden, maar geen kluiten

Figuur 2: Aggregaten en bodemstructuur. Bron (Bio Solutions, z.d.).



vormen. Dit is een kenmerk van een goede bodemstructuur (Handboek bodem en bemesting, z.d.).

Een goede bodemstructuur draagt bij aan het aandeel lucht in een bodem en zorgt voor een goede ontwikkeling van plantenwortels. Ook is een goede bodemstructuur en voldoende lucht gunstig voor het bodemleven. Dit heeft weer directe gevolgen op de bodemvruchtbaarheid aangezien bodemleven van belang is voor mineralisatie (Handboek bodem en bemesting, z.d.).

Alle processen in de bodem staan in verband met elkaar en kunnen elkaar versterken. De processen die in de bodem plaatsvinden hebben veelal een relatie met de ontwikkeling van de planten en daarmee de gewasopbrengst. Een kuilanalyse weerspiegelt hierdoor wat er in de bodem gebeurt. Door inzicht te krijgen in de achtergrond van de verschillende bodemprocessen en het ontstaan van kuileigenschappen wordt inzichtelijk gemaakt wat de relatie is tussen de bodem en het geproduceerde gras. Zo hebben de CEC, OS, pH en lutumgehalte invloed op het vermogen om nutriënten te binden en af te geven aan de bodem. Maar ook staan ze in relatie met het kaliumgehalte en de structuur. De structuur heeft op zijn beurt weer een relatie met het bodemleven. Dit draagt bij aan de mineralisatie waardoor er meer nutriënten waaronder, mineralen en stikstof gemineraliseerd kunnen worden. Hierdoor zijn deze nutriënten beschikbaar voor de plant en komt dit de kwaliteit van de graskuil ten goede.

De bodem -en kuilindex zijn op basis van bovenstaande processen en relaties tot stand gekomen, echter is nog onbekend of er daadwerkelijk een relatie is tussen: de index voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden in de bodem en de fosfor -en kalium voorziening in de graskuil, de index voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en het ruw eiwitgehalte van de graskuil en de index voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil.

Daarom is bij dit onderzoek de volgende hoofdvraag opgesteld: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex en resultaten in een kuilindex (ruw eiwit en fosfor -en kalium)'.

Aan de hand van een aantal deelvragen zal de hoofdvraag beantwoord worden.

1. Wat is de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosfor -en kalium voorziening in een graskuil?
2. Wat is de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te binden en de indexwaarde voor het ruw eiwit in een graskuil?
3. Wat is de relatie tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor -en kaliumwaarden in een graskuil?

Het doel van dit onderzoek is om erachter te komen of er een relatie is tussen de bodemindexen van de verschillende onderdelen en de resultaten in een kuilindex. Hierbij is het doel om te kijken of op basis van een bodemindex, die specifieke onderdelen van een bodemanalyse weergeeft geconcludeerd kan worden dat bodems met een goede index betere kuilen genereren. Door inzicht te krijgen welke onderdelen van een bodemindex in verband staan met kuileigenschappen kan duidelijk worden gemaakt dat goed bodembeheer loont. Dit kan ondernemers aansporen actief te sturen op bodembeheer en efficiënt om te gaan met de bodem.

2. Plan van aanpak

Om meer inzicht te krijgen in de kwaliteit van de bodem en graskuilen is het concept indexboeren door het VIB ontwikkeld. In dit onderzoek is onderzocht of er een relatie is tussen de bodemindex en verschillende onderdelen van de kuilindex. De onderzoeksvraag luidt als volgt: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex en resultaten in een kuilindex (ruw eiwit en fosfor -en kalium)'.

2.1. Materiaal

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is er een kwantitatief onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd op basis van bodem -en kuilindexen van zeventien VIB-klanten met een gangbaar melkveebedrijf. De selectie van deze klanten werd gebaseerd op de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van data. In dit onderzoek werden de bodem -en kuilindexen van het jaar 2018 tot en met de maand november van het jaar 2022 gebruikt. Hierbij was het wat betreft de betrouwbaarheid van uiterst belang dat alle indexen volledig waren ingevuld op basis van uitgebreide bodem -en kuilanalyses. Door het geringe aantal bedrijven dat aan de gestelde eisen voldeed is het onderzoek uitgevoerd op de genoemde zeventien bedrijven. Deze bedrijven waren gevestigd in de provincies Groningen, Friesland, Drenthe, Overijssel, Gelreland en Noord-Holland.

Het bodemindex-invoerbestand (zie bijlage 1) werd op basis van een bodemanalyse van Eurofins Agro ingevoerd. Alle bodemanalyses uit de onderzoeksperiode zijn per klant opgevraagd op de website 'mijn Eurofins'. In dit onderzoek zijn enkel de indexen van klanten verwerkt waarvan een volledige bodem index bekend was. Dit hield in dat er een uitgebreid bodemonderzoek moet hebben plaats gevonden, waardoor: de indexcijfers voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden in de bodem en af te geven aan planten, het vermogen stikstof te mineraliseren, de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de bodemstructuur inzichtelijk werden.

De bodemindexen van alle bedrijven werden gebundeld in één Excel-bestand en worden weergegeven in bijlagen 3 en 4. De ontbrekende indexen uit deze periode dienden gemaakt te worden. Hierbij werd gebruik gemaakt van de bodemindex-tool van het VIB. Daarnaast werd middels e-mailcontact met de klant achterhaald wat de perceel oppervlakte van ieder bemonsterd perceel was. Deze perceel oppervlakten vormden een belangrijk gegeven voor het berekenen van een gewogen gemiddelde. Voor het berekenen van het gewogen gemiddelde werd gebruik gemaakt van het Excel-bestand waarin alle bodemindexen gebundeld waren. In bijlage 2 is getoond hoe dit er in de praktijk uit ziet.

De kuilindexen werden opgesteld aan de hand van kuilanalyse uitslagen. Deze uitslagen werden per jaar, per klant bijgehouden in een Excel-bestand. Dit bestand stond evenals de gerealiseerde kuilindexen in de Cloudomgeving van het VIB. Ontbrekende indexen konden doormiddel van de kuilindex-tool van het VIB en data uit de kuilanalyse worden opgesteld. De betreffende kuilanalyses zijn uitgevoerd door Eurofins Agro. Er werden uitsluitend uitgebreide Eurofins kuilanalyses gebruikt die zijn gemonsterd op basis van de pakketten 'extra' en 'compleet' (Eurofins Agro, z.d.). De uitgevoerde kuilanalyses waren overigens ook op te vragen op de website van 'Mijn Eurofins'. Voor de bepaling van het gewogen gemiddelde konden hier de hoeveelheden product per analyse worden afgelezen. Het bundelen van alle kuilindexen met de bijbehorende gewogen gemiddelde werd gedaan in het eerder opgezette Excel-bestand, waar tevens alle bodemindexen in stonden.

Daarnaast is er gebruik gemaakt van statistisch programma JASP. In dit programma konden alle verzamelde data verwerkt worden.

2.2. Methode

De hoofdvraag is beantwoord aan de hand van drie deelvragen. De data zijn afkomstig uit de Clouddomgeving van het VIB en bestaat uit klanten die deelnemen aan het concept 'indexboeren'.

Het onderzoek is gericht op de bodemindexen van graslandbodems en een aantal specifieke onderdelen van de gras kuilindexen.

1. **Deelvraag 1. Wat is de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosfor -en kalium voorziening in een graskuil?**

In deze deelvraag is gekeken naar het vermogen van de bodem om fosfor -en kalium te binden. Aan de hand van dit gegeven kan een ondernemer strategische keuzes maken met betrekking tot bodembeheer. Aan de hand van een gewogen gemiddelde werd de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden per klant inzichtelijk gemaakt. Deze waarde is vergeleken met de totale gewogen gemiddelden van de aanwezige fosfor en kalium. Met behulp van het statistisch programma JASP werden de resultaten met elkaar vergeleken door middel van een lineaire regressieanalyse.

2. **Deelvraag 2. Wat is de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te binden en de index waarde voor het ruw eiwit in een graskuil?**

Bij deze deelvraag is onderzocht of het vermogen om stikstof te binden van invloed is op het ruw eiwitgehalte in een graskuil. Op basis van dit gegeven kan een ondernemer actie ondernemen om de gewenste resultaten te behalen. De gewogen gemiddelde bodemindex voor het vermogen om stikstof te binden werd per klant vergeleken met de gewogen gemiddelde indexwaarden voor het ruw eiwit van de graskuilen per klant. Hierbij is gebruik gemaakt van het statistisch programma JASP. De resultaten werden vergeleken aan de hand van een lineaire regressieanalyse.

3. **Deelvraag 3. Wat is de relatie tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor -en kaliumwaarden in een graskuil?**

In deze deelvraag is uitgezocht of er een relatie is tussen de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium in de bodem en deze waarden in een graskuil. Door antwoord te krijgen op deze deelvraag kan actief actie worden ondernomen om de gewenste waarden in de bodem en daarmee in de graskuil te realiseren. De gewogen gemiddelde bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium werd hierbij per klant vergeleken met de gemiddeld gewogen fosfor -en kaliumwaarden in de graskuilen van deze klant. Dit werd gedaan doormiddel van het statistisch programma JASP. De resultaten zijn hierbij met een lineaire regressieanalyse vergeleken.

3. Resultaten

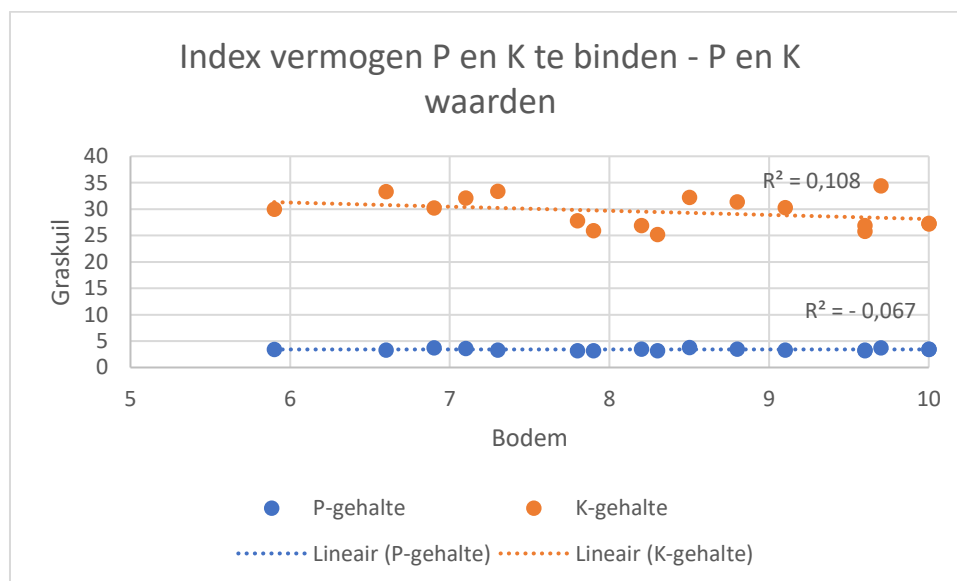
In dit hoofdstuk zijn de resultaten van dit onderzoek per deelvraag weergegeven. Dit onderzoek heeft als doel om te achterhalen of melkveehouders met een betere bodemindex ook daadwerkelijk beter scoren in de kuilindex. Door het verband te toetsen zal deze vraag beantwoord worden.

3.1. Resultaten deelvraag 1

De eerste deelvraag ging in op de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden in de bodem en het fosfor -en kaliumgehalte in de graskuil. Om tot een antwoord op deze deelvraag te komen werd de indexwaarde voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden vergeleken met zowel de fosfor als de kaliumwaarden in de graskuil. De meetgegevens van 2018 tot en met de maand november van het jaar 2022 zijn aan de hand van een lineaire regressieanalyse verwerkt in de resultaten. Uit de vergelijking tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosforwaarden in de graskuil komt een P-waarde van 0,980. Dit houdt in er geen sprake is van een significant verband. Daarnaast is de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden vergeleken met de kaliumwaarden in de graskuilen. Hieruit komt een P-waarde van 0,198, dit betekent dat er geen significant verband is.

In figuur 3 is de lineaire regressieanalyse weergegeven met de R^2 . Betreft de vergelijking van bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden ten opzichte van de fosforwaarden geldt een R^2 van -0,067. Dit houdt in dat er een zwakke negatieve correlatie is. Uit de vergelijking met de kaliumwaarden blijkt een R^2 van 0,108. Ook dit betekent dat er sprake is van een zwakke correlatie.

Figuur 3: Bodemindex voor vermogen P en K te binden - P en K waarden graskuil.



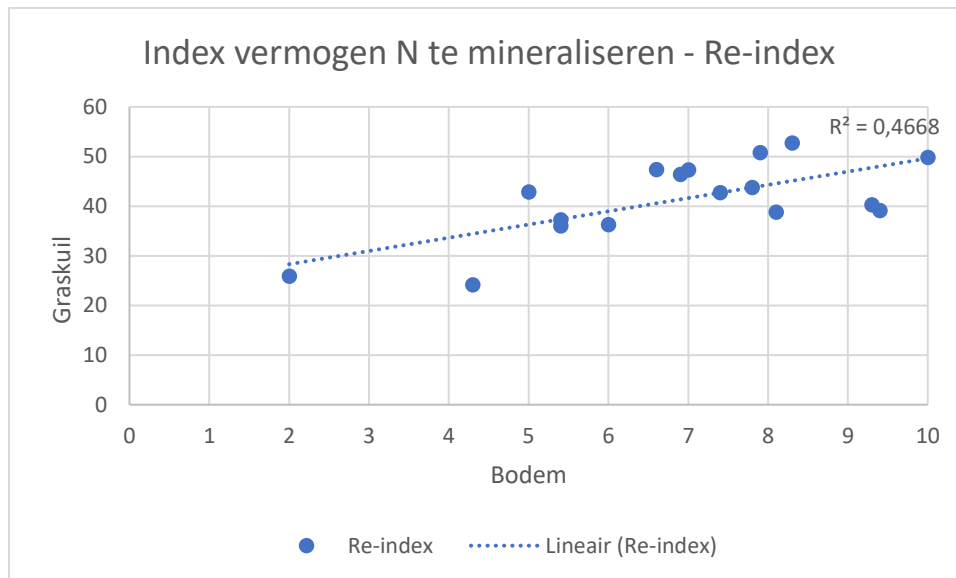
3.2. Resultaten deelvraag 2

In de tweede deelvraag werd ingegaan op de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en de indexwaarde voor het ruw eiwit in de graskuil. Deze deelvraag werd op basis van de meetgegevens van 2018 tot en met de maand november in het jaar 2022 beantwoord. Evenals de eerste deelvraag is ook deze deelvraag beantwoordt doormiddel van een lineaire regressieanalyse. Uit deze toets blijkt dat de P-waarde 0,003 is. Dit betekent dat er een

significant verband is tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en de indexwaarde voor het ruweiwit in de graskuil.

In figuur 4 is de lineaire regressieanalyse tussen de indexwaarden voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en de index voor het ruw eiwit te zien. Uit deze vergelijking blijkt dat de R^2 0,467 is. Dit is zwakke correlatie.

Figuur 4: Bodemindex voor vermogen N te mineraliseren - Re-index graskuil.

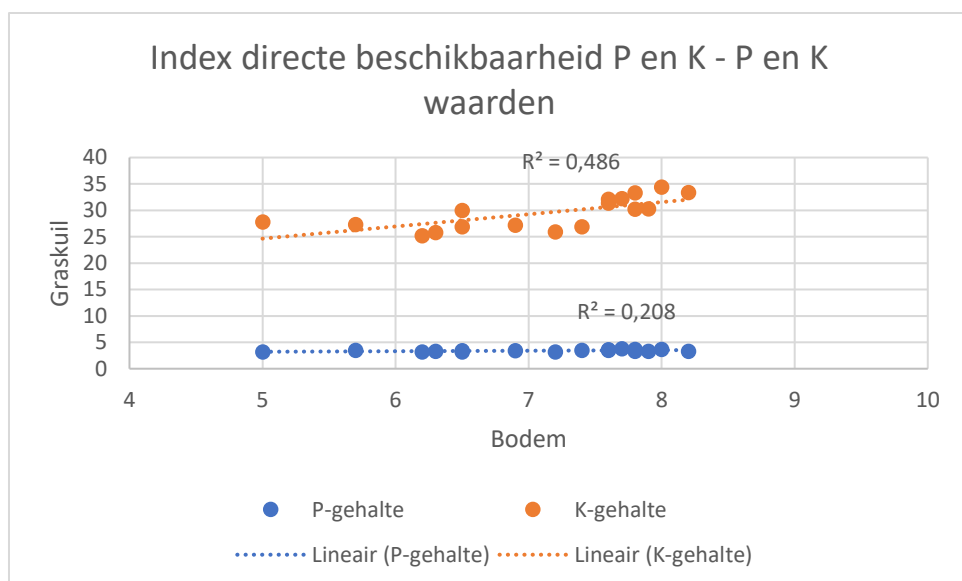


3.3. Resultaten deelvraag 3

De laatste deelvraag heeft betrekking op de relatie tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor -en kaliumwaarden in een graskuil. Bij het beantwoorden van deze deelvraag zijn de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor en kaliumwaarden in een graskuil met elkaar vergeleken. De meetgegevens van 2018 tot en met de maand november van het jaar 2022 zijn in de resultaten verwerkt doormiddel van een lineaire regressieanalyse. Uit deze analyse blijkt dat de relatie tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosforwaarden in de graskuil een P-waarde van 0,066 heeft. Er is geen sprake van een significant verband. uit de vergelijking met kaliumwaarden in de graskuil blijkt een P-waarde van 0,002. Dit geeft aan dat er een significant verband is tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de kaliumwaarden in de graskuil.

In figuur 5 zijn de lineaire regressieanalyse en R^2 tussen de index waarde voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil weergegeven. Hieruit blijkt dat de vergelijking met de fosforwaarden een R^2 heeft van 0,208. Dit is een zwakke correlatie. Daarnaast heeft de vergelijking met de kaliumwaarden een R^2 van 0,486, ook dit is een zwakke correlatie.

Figuur 5: Bodemindex voor directe beschikbaarheid P en K - P en K waarden graskuil.



4. Discussie

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de bodemindex en zijn verschillende onderdelen uit de kuilindex behandeld. Deze data zijn van verschillende melkveebedrijven verzameld en gebundeld in een Excel-bestand. In dit hoofdstuk wordt besproken wat discussiepunten zijn in dit onderzoek. Daarnaast worden de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met de literatuur.

4.1. Reflectie op onderzoek

In dit onderzoek is data verzameld op basis van volledig ingevulde grasland bodem -en kuilindexen, van het jaar 2018 tot en met de maand november van het jaar 2022. Hierbij is het vereist dat er van alle percelen en graskuilen uitgebreide analyses beschikbaar zijn. Deze aspecten vormen belangrijke criteria voor de selectie van de bedrijven in dit onderzoek. Uit de beschikbare data van het VIB konden slechts zeventien bedrijven worden gebruikt in dit onderzoek. Het aantal bedrijven dat is gebruikt had bij voorkeur groter moeten zijn, dit zou de betrouwbaarheid van het onderzoek verhogen. Daarnaast zou door het vergroten van het aantal bedrijven voldoende gegevens beschikbaar komen waardoor er een selectie per regio en grondsoort gemaakt kan worden. Het verschil in grondsoorten is in het huidige onderzoek niet opgenomen. Echter is de grondsoort wel van invloed op de bodemkwaliteit en de bodemindex.

Ook is in dit onderzoek geen rekening gehouden met factoren die invloed hebben op de bodem, het eiwitgehalte in de graskuil en de fosfor- en kaliumwaarden in de graskuil. Bemesting is een van de belangrijkste factoren en heeft zowel invloed op het ruw eiwitgehalte als de fosfor -en kaliumwaarden. Daarnaast is er in dit onderzoek geen rekening gehouden met de grassamenstelling, het maaistadium van gras en weersinvloeden. Aangezien het onderzoek data bevat uit verschillende droge jaren kan dit een vertekend beeld geven.

4.2. Vergelijking met literatuur

In dit onderzoek is geen significant verband waargenomen tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil. De bodemindex-waarde voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden wordt gebaseerd op het OS-gehalte, de pH, de CEC en het lutum gehalte. Aangezien deze kengetallen ieder bijdragen aan het binden van mineralen als fosfor -en kalium in de bodem werd op basis van de literatuur verwacht dat er een relatie zou zijn met de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil (Kabata-Pendias, 2004). Een significant verband zou in dit onderzoek uit kunnen blijven door verschillende factoren die de fosfor -en kalium waarden in de graskuil beïnvloeden. In dit onderzoek is namelijk geen rekening gehouden met de toediening van meststoffen, waaronder fosfor -en kalium.

Er is een significant verband aangetroffen tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en de index voor het ruw eiwit in een graskuil. Naar aanleiding van de literatuur was dit verband te verwachten. Echter was op basis van de literatuur ook te verwachten dat het ruw eiwit in de graskuil werd beïnvloed door de bemesting (Rambaut et al., 2022). Daarnaast is het ruw eiwitgehalte afhankelijk van het soort gras, het maaistadium en weersinvloeden.

Het significante verband tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de kaliumwaarden in de graskuil was op basis van de literatuur te verwachten. De K-KAE is namelijk een belangrijke indicator voor de kaliumwaarde in de graskuil. Echter werd in de literatuur ook beschreven dat de P-PAE de directe plant beschikbare fosfor aan geeft. Hier is overigens geen significant verband aangetroffen. Zoals in de literatuur beschreven kunnen planten naast de direct beschikbare fosfor en kalium ook de overige vormen in de bodem op nemen (Latitha, 2014). Dat er geen sprake is van een significant verband tussen de fosforwaarden in de graskuil en de directe

beschikbaarheid van fosfor -en kalium in de bodem zou hier mogelijk door verklaard kunnen worden. Daarnaast kan de berekeningswijze van de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium in relatie tot de fosforgehalten in de graskuil leiden tot een insignificant verband. Dit kan aangezien de indexwaarde wordt bepaald door zowel de P-PAE als de K-KAE. Op het moment dat de P-PAE of K-KAE enorm afwijkt kan dit een vertekend beeld geven in de indexwaarde.

5. Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt de conclusie van dit onderzoek beschreven en worden aanbevelingen gedaan. Op basis van deze conclusie en aanbevelingen kunnen melkveehouders ondersteunen bij de keuze voor het gebruik van het concept indexboeren. Daarnaast kunnen de aanbevelingen een bijdrage leveren bij een mogelijk vervolgonderzoek.

5.1. Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek is: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex en resultaten in een kuilindex (ruw eiwit en Fosfor -en kalium)'. Deze vraag wordt aan de hand van de volgende deelvragen beantwoord.

De eerste deelvraag luidt: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosfor -en kalium voorziening in een graskuil?'. Totaal zijn van zeventien bedrijven de bodemindex-waarden vergeleken met de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuilen. Uit dit onderzoek is gebleken dat er geen significant verband is tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosfor -en kalium voorziening in een graskuil.

De tweede deelvraag luidt: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te binden en de index waarde voor het ruw eiwit in een graskuil?'. Voor het beantwoorden van deze deelvraag zijn de bodemindex-waarden van zeventien bedrijven vergeleken met de bij behorende index waarden voor het ruw eiwit in de graskuil. Uit het onderzoek is gebleken dat er een significant verband is aangetoond tussen de bodemindex voor het vermogen om stikstof te mineraliseren en de indexwaarde voor het ruw eiwit in een graskuil.

De derde en tevens de laatste deelvraag luidt: 'Wat is de relatie tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosfor -en kaliumwaarden in een graskuil?'. De betreffende bodemindex is vergeleken met de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil. Deze vergelijking is bij alle bedrijven uit het onderzoek uitgevoerd. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat er geen significant verband is aangetoond tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de fosforwaarden in de graskuil. Overigens is er wel een significant verband aangetoond tussen de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de kaliumwaarden in de graskuil.

De deelvragen geven antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek. Op basis van dit onderzoek kan gesteld worden dat melkveehouders met een hogere bodemindex beter scoren op de kuilindex. De deelvragen geven aan dat een hogere bodemindex voor het vermogen stikstof te mineraliseren en de directe beschikbaarheid voor fosfor -en kalium wel degelijk in relatie staan met de indexwaarde voor het ruw eiwit en de kalium waarden in de graskuil. Echter geldt dit niet voor de relatie met de fosforwaarden in de graskuil. Daarnaast kan er op basis van dit onderzoek gesteld worden dat er geen relatie is tussen de bodemindex voor het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de fosfor -en kaliumwaarden in de graskuil.

5.2. Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek is het voor melkveehouders aan te raden om een bodemindex uit te voeren en actief te sturen naar zo hoog mogelijke bodemindex-waarden. Dit onderzoek laat zien dat bodems met een hoge indexwaarde voor het vermogen om stikstof te mineraliseren hogere indexwaarden genereren voor het ruw eiwit in de graskuil. Dit geldt ook voor de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium en de kaliumwaarden in de graskuilen.

Om een hogere bodemindex te genereren is het allereerst van belang te sturen naar een optimale pH-waarde van 5,5 in grasland. Daarnaast is het van groot belang dat het stikstof leverend vermogen en het organische stofgehalte van de bodem op peil blijft of wordt verhoogd. Al deze facetten beïnvloeden de CEC en dragen daardoor bij aan onder andere het vermogen om fosfor -en kalium te binden en de directe beschikbaarheid van fosfor -en kalium. Tevens zal dit bijdragen aan de bodemstructuur, wat op zijn beurt weer van invloed is op het vermogen om stikstof te mineraliseren en daarmee het ruw eiwitgehalte in de graskuil.

Voor een eventueel vervolgonderzoek is aan te bevelen om de te toetsen data uit te breiden, dit zal de betrouwbaarheid vergroten. Hierbij wordt aanbevolen meer data per regio of grondsoort te verkrijgen, waardoor een selectie kan worden aangemaakt op basis van deze aspecten. Hierdoor wordt het mogelijk inzichtelijk te maken wat het effect van grondsoorten is op de resultaten van de bodemindex met als vervolg de resultaten in de kuilindex. Het zou interessant zijn om in het onderzoek rekening te houden met factoren die de fosfor -en kalium en het ruw eiwitgehalte in de graskuil beïnvloeden. De grondsoort, maar ook factoren als bemesting, weersomstandigheden, maaistadium en de grassoorten zijn in dit onderzoek niet meegenomen maar kunnen wel van belang zijn.

Daarnaast is het aan te bevelen om in een vervolgonderzoek de bodemindex voor de directe beschikbaarheid van fosfor en kalium op te splitsen per onderdeel. Aangezien de index nu gebaseerd wordt op het beide waarden kan de index, op het moment dat een van deze waarden extreem hoog of laag is een vertekend beeld geven. Het is aan te raden om exact inzichtelijk te krijgen wat de relatie is tussen de P-PAE en de fosfor waarden in de graskuil. En vervolgens de relatie tussen de K-KAE en de kaliumwaarden in de graskuil. Op het moment dat dit duidelijk is kan geconcludeerd worden of er sprake is van een verband tussen de beschikbaarheid in de bodem en de aanwezigheid in de graskuil.

Bronnenlijst

Barenbrug. (2020, 28 juli). *Fosfaatefficiëntie verhogen met gras*. Melkveebedrijf.nl. Geraadpleegd op 27 december 2022, van <https://www.melkveebedrijf.nl/veevoer-melkvee/grasland/fosfaatefficiëntie-verhogen-met-gras/>

Barenbrug. (z.d.). *Meer eiwit uit ruwvoer door gebruik van klaver in grasland*. Geraadpleegd op 5 november 2022, van <https://www.barenbrug.nl/veehouderij/vaknieuws/meer-eiwit-uit-ruwvoer-door-gebruik-van-klaver-in-grasland.htm>

Bengtsson, G., Bengtson, P., & Månsson, K. F. (2003). Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 143-154. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00248-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00248-1)

Bio Solutions. (z.d.). *Bodemstructuur*. Geraadpleegd op 28 december 2022, van <https://biosolutions.bio/bodemstructuur/>

BLGG AgroXpertus. (2013). Kaliumtekort is vaak onzichtbaar. *Akkerwijzer*, 10, 16–17. Geraadpleegd op 5 november 2022, van <https://edepot.wur.nl/287773>

CBS. (2022, 26 augustus). *Landbouw; gewassen, dieren, grondgebruik en arbeid op nationaal niveau*. Geraadpleegd op 14 september 2022, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?fromstatweb>

Dekker, P. H. M., & Postma, R. (2008). *Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting* (No. 3250061800). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten.

Demey, A., De Schrijver, A., Schelfhout, S., & Verheyen, K. (2014). NIP Fondatie-Heernisse: expertenadvies vegetatieontwikkeling.

Eurofins Agro. (z.d.-a). *Organische stof*. Geraadpleegd op 22 oktober 2022, van <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/organische-stof>

Eurofins Agro. (z.d.-b). *P-PAE*. Geraadpleegd op 6 november 2022, van <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/p-pae>

Eurofins Agro. (z.d.). *Voederwaarde analyse van uw graskuil of maiskuil*. Geraadpleegd op 28 november 2022, van <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/voederwaarde-onderzoek-kuil>

Eurofins Agro. (2020, 8 september). *CEC en opbrengst hangen nauw samen*. Geraadpleegd op 8 oktober 2022, van <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/wat-zegt-de-cec>

Evers, A. G. (2022, 23 maart). *Fors meer gras in 2021 voor Koeien & Kansen-bedrijven*. WUR. Geraadpleegd op 17 november 2022, van <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/livestock-research/show-wlr/Fors-meer-gras-in-2021-voor-Koeien-Kansen-bedrijven.htm>

Handboek bodem en bemesting. (z.d.). *Functies en kwaliteiten van organische stof*. Geraadpleegd op 4 november 2022, van <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/handeling/organische-stofbeheer/functies-en-kwaliteiten-van-organische-stof.htm>

Kabata-Pendias, A. (2004). Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*, 122(2-4), 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.004>

- Keijzer, P., van Malland, F. C., van Agtmaal, M., van Eekeren, N. J., Pol, G. K., & Voshol, P. J. (2020). *Gezonde bodem... gewas/vee... voeding... mens*. Louis Bolk Instituut.
- Ketterings, Q., Reid, S., & Rao, R. (2007). Cornell University Agronomy Fact Sheet# 22: Cation Exchange Capacity (CEC). *Cornell University: Ithaca, NY, USA*.
- Lalitha, M., & Dhakshinamoorthy, M. (2014). Forms of soil potassium-a review. *Agricultural reviews*, 35(1). <https://doi.org/10.5958/j.0976-0741.35.1.008>
- LLTB. (2020, 18 februari). *Meer eiwit met gezonde bodem*. Geraadpleegd op 4 november 2022, van <https://www.lltb.nl/nieuwsberichten/website/2020/02/meer-eiwit-met-gezonde-bodem>
- Maathuis, F. J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current opinion in plant biology*, 12(3), 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Mijn Bodem Index. (2022, 6 september). *Mijn Bodem Index*. Geraadpleegd op 22 oktober 2022, van <https://www.mijnbodemindex.nl/>
- Mons, G. (2022, 6 september). *Sectororganisaties zwaar gefrustreerd over afschaffen derogatie*. Melkvee.nl. Geraadpleegd op 15 september 2022, van <https://www.melkvee.nl/artikel/538067-sectororganisaties-zwaar-gefrustreerd-over-afschaffen-derogatie/>
- Natura Foundation. (z.d.). *Mineralen*. Geraadpleegd op 20 november 2022, van <https://www.naturafoundation.nl/kenniscentrum/monografie/119/mineralen>
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Penn, C. J., & Camberato, J. J. (2019). A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, 9(6), 120. <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- Pirhofer-Walzl, K., Rasmussen, J., Høgh-Jensen, H., Eriksen, J., Sørensen, K., & Rasmussen, J. (2012). Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant and soil*, 350(1), 71-84. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0882-z>
- Rambaut, L. A. E., Tillard, E., Vayssières, J., Lecomte, P., & Salgado, P. (2022). Trade-off between short and long-term effects of mineral, organic or mixed mineral-organic fertilisation on grass yield of tropical permanent grassland. *European Journal of Agronomy*, 141, 126635. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126635>
- Rommelink, G., van Middelkoop, J., Ouweltjes, W., & Wemmenhove, H. (2020). *Handboek melkveehouderij 2020/21* (No. 44). Wageningen Livestock Research.
- Rowley, M.C., Grand, S. & Verrecchia, É.P. Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. *Biogeochemistry* 137, 27–49 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0410-1>
- RVO. (2022, 5 september). *Derogatie vanaf 2023*. Geraadpleegd op 15 september 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/derogatie/derogatie-vanaf-2023>
- Slimmest. (2019, 6 september). *Soorten organische stof: Langzaam en snel afbreekbaar*. Geraadpleegd op 3 november 2022, van <https://www.slimmest.nl/soorten-organische-stof-langzaam-en-snel-afbreekbaar/>

Smit, A. L., & van der Bok, N. (2005). *Mest -en mineralenkennis voor de praktijk: stikstoflevering uit de bodem* (No. bl. 16). Plant Research International.

Spears, J. W. (1994). Minerals in forages. *Forage quality, evaluation, and utilization*, 281-317.
<https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c7>

Valk, H., Metcalf, J. A., & Withers, P. J. A. (2000). Prospects for minimizing phosphorus excretion in ruminants by dietary manipulation. *Journal of Environmental Quality*, 29(1), 28-36.
<https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900010005x>

Van Dijk, W., Dekker, P. H. M., Postma, R., & Moolenaar, S. W. (2007). *Bodembeheer op akkerbouwbedrijven in relatie tot het mineralenbeleid*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving nr. 32 500617 00. Geraadpleegd op 2 november 2022, van
https://kennisakker.nl/storage/1296/32500617_rapport.pdf

VIB Consulting. (2021, 20 augustus). *Bodem*. Geraadpleegd op 2 november 2022, van
<https://vibconsulting.nl/bodem/>

Vruchtbarebodem. (2022, 25 mei). *Stikstof en Eiwit, een dure combi of is er een “natuurlijke” oplossing?* Geraadpleegd op 2 oktober 2022, van
<https://www.vruchtbarebodem.nl/nl/nieuws/stikstof-en-eiwit-een-dure-combi-of-is-er-een-natuurlijke-oplossing/49>

Wang, C., Xing, X., & Han, X. (2004). Advances in study of factors affecting soil N mineralization in grassland ecosystems. *Ying yong sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 15(11), 2184-2188.

Bijlage 1. Bodemindex-invoerbestand

	A	B	K	N	Q	AB	AD	AJ	AP	AX	BB	BT	EX	BZ	FR	FT	FV	FX	FY
1	NrKlant	NmKlant	OmMonster	DtMonster	BemD	CN	N-Levering	P-PAE	K	SLV	Mg	pH	OS	Lutum	Ca-bez	Mg-bez	K-bez	Na-bez	
1135	6343449	Vos de	3	2017	10	13	190	3,7	147	15	347	5,4	8,6	3	68	25	3,9	1,3	
1136	6343449	Vos de	3 '22	2022	10	12	225	2,4	205	17	346	5,7	10,3	2	73	16	3,4	0,8	
1139	6343449	Vos de	13	2017	10	13	194	3,5	91	19	324	5,4	9,8	2	71	23	3	1,3	
1140	6343449	Vos de	13 '22	2022	10	14	190	2,7	74	17	300	5,8	9	2	74	20	3	0,8	
1141	6343449	Vos de	14	2017	10	13	162	2,8	72	15	285	5,2	6,8	1	64	27	4,5	1,5	
1143	6343449	Vos de	15	2017	10	13	159	2,1	59	15	241	5,4	6,6	1	65	26	4,6	1,4	
1144	6343449	Vos de	16	2017	10	15	168	1,2	48	15	240	5,4	8,9	3	63	23	3,5	1,2	
1145	6343449	Vos de	16 '22	2022	10	16	155	1,2	56	14	197	5,3	7,5	3	69	14	2,5	0,5	
1146	6343449	Vos de	42	2022	10	14	170	1	72	14	242	5,8	8,4	2	80	17	1,9	0,8	
1147	6343449	Vos de	43	2022	10	15	185	0,8	70	15	267	5,6	10,2	2	82	12	1,9	0,8	
1148	6343449	Vos de	44	2022	10	15	195	1,1	94	17	351	5,7	11,2	3	85	11	1,9	0,8	
1149	6343449	Vos de	45	2022	10	15	180	1,5	76	19	299	5,5	9,6	2	76	16	2,2	0,9	
1150	6343449	Vos de	46	2022	10	15	160	1,1	46	13	220	5,4	6,9	2	74	18	2,6	0,9	
1153	6343449	Vos de	62	2018	10	15	215	0,6	62	18	222	4,8	13,4	4	60	20	2,3	1	
1156	6343449	Vos de	6-7-8	2017	10	13	188	2,6	111	16	259	5	9,1	2	63	23	4,3	1,4	
1157	6343449	Vos de	4-5-9	2017	10	14	170	1,6	127	14	281	5,2	8,1	2	67	23	3,5	1,2	
1158	6343449	Vos de	1-2	2017	10	13	185	2,5	100	15	269	5,5	8,6	3	70	26	3,3	1,3	
1159	6343449	Vos de	4-5	2022	10	14	170	1,9	162	17	256	5,6	8,7	2	75	16	3,2	1	
1160	6343449	Vos de	6-7	2022	10	14	170	2,4	98	14	237	5,4	7,9	2	74	18	3,5	1	
1161	6343449	Vos de	11-12	2017	10	14	152	1	89	12	243	5,5	6	2	70	20	4	1,3	
1162	6343449	Vos de	11-12 '22	2022	10	15	180	1	72	16	250	5,6	8,7	2	69	23	3,9	1	
1163	6343449	Vos de	H 1 p 41	2019	10	16	150	1,1	77	14	181	5,5	6,8	1	78	17	3,1	0,8	
1165	6343449	Vos de	31-32 '22	2022	10	14	155	1,7	57	12	177	5,6	6,1	1	74	18	2,7	0,9	
1166	6343449	Vos de	42-43	2018	10	15	190	0,6	38	15	205	5,4	10,4	3	73	21	3,3	1	
1167	6343449	Vos de	44-45-46	2018	10	17	165	0,7	29	19	249	5,2	9,6	3	72	20	2,8	0,7	
1168	6343449	Vos de	Van Arie p33	2019	10	16	145	1,3	80	10	193	5,6	5,5	1	78	19	3,4	0,9	
1170	6343449	Vos de	15 '22	2022	10	18	120	0,6	55	10	173	5,6	5,4	1	78	8,2	2,3	0,9	
1175	2714620	Wijk van M	B 1-2	2021	10	9	65	2,1	120	22	100	7,3	2	7	90	5,1	4,1	1,1	

Bijlage 2. Bodemindex met gewogen gemiddelden

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Klant	Perceel	Jaartal	Gebruik	Eindcijfer	Opp. in ha	Gem. gewogen eindcijfer	Vermogen mineralen te mineraliseren	Vermogen N te binden	Beschikbaarheid basissubstraten	Bodem structuur	G.G. vermogen mineralen te binden	G.G. vermogen N te mineraliseren	G.G. beschikbaarheid basissubstraten	G.G. bodemstructuur					
1245	Vos de	11-12	2017	Grasland	7,0	3,7	25,9	6	6	8	8	22,2	3,7	22,2	3,7	29,6	3,7	29,6	3,7	
1246	Vos de	1-2	2017	Grasland	9,5	3,6	34,2	10	10	10	8	36	3,6	36	3,6	36	3,6	28,8	3,6	
1247	Vos de	13	2017	Grasland	9,5	4	38,0	10	10	10	8	40	4	40	4	40	4	32	4	
1248	Vos de	14	2017	Grasland	6,3	4	25,0	6	6	9	4	24	4	24	4	36	4	16	4	
1249	Vos de	15	2017	Grasland	6,5	3,1	20,2	6	6	8	6	18,6	3,1	18,6	3,1	24,8	3,1	18,6	3,1	
1250	Vos de	16	2017	Grasland	6,8	2,4	16,2	10	8	5	4	24	2,4	19,2	2,4	12	2,4	9,6	2,4	
1251	Vos de	1	2017	Grasland	9,0	2,1	18,9	10	10	10	6	21	2,1	21	2,1	21	2,1	12,6	2,1	
1252	Vos de	4-5-9	2017	Grasland	8,3	3,6	25,7	10	8	9	6	36	3,6	28,8	3,6	32,4	3,6	21,6	3,6	
1253	Vos de	6-7-8	2017	Grasland	8,5	4,5	38,3	10	10	10	4	45	4,5	45	4,5	45	4,5	18	4,5	
1254	Vos de	42-43	2018	Grasland	8,0	3,6	28,8	10	10	4	8	36	3,6	36	3,6	14,4	3,6	28,8	3,6	
1255	Vos de	44-45-46	2018	Grasland	7,3	6,2	45,0	10	8	3	8	62	6,2	49,6	6,2	18,6	6,2	49,6	6,2	
1256	Vos de	62	2018	Grasland	7,3	3,5	25,4	10	10	5	4	35	3,5	35	3,5	17,5	3,5	14	3,5	
1257	Vos de	H 1 p 41	2019	Grasland	8,0	5	40,0	8	6	8	10	40	5	30	5	40	5	50	5	
1258	Vos de	Van Arie p33	2019	Grasland	7,0	7,3	51,1	6	4	8	10	43,8	7,3	29,2	7,3	58,4	7,3	73	7,3	
1259	Vos de	11-12 '22	2022	Grasland	8,3	3,7	30,5	10	10	7	6	37	3,7	37	3,7	25,9	3,7	22,2	3,7	
1260	Vos de	13 '22	2022	Grasland	9,3	4	37,0	10	10	9	8	40	4	40	4	36	4	32	4	
1261	Vos de	15 '22	2022	Grasland	5,8	3,1	17,8	8	2	5	10	18,6	3,1	6,2	3,1	15,5	3,1	31	3,1	
1262	Vos de	18 '22	2022	Grasland	7,0	2,4	16,8	10	6	6	6	24	2,4	14,4	2,4	14,4	2,4	14,4	2,4	
1263	Vos de	3 '22	2022	Grasland	9,5	2,1	20,0	10	10	10	8	21	2,1	21	2,1	21	2,1	16,8	2,1	
1264	Vos de	31-32 '22	2022	Grasland	6,8	4,5	30,4	6	6	7	8	27	4,5	27	4,5	31,5	4,5	36	4,5	
1265	Vos de	42	2022	Grasland	8,8	1,6	14,0	10	8	7	10	16	1,6	12,8	1,6	11,2	1,6	16	1,6	
1266	Vos de	43	2022	Grasland	9,0	2	18,0	10	10	6	10	20	2	20	2	12	2	20	2	
1267	Vos de	44	2022	Grasland	9,5	2	19,0	10	10	8	10	20	2	20	2	16	2	20	2	
1268	Vos de	45	2022	Grasland	9,8	2,1	20,5	10	10	9	10	21	2,1	21	2,1	18,9	2,1	21	2,1	
1269	Vos de	4-5	2022	Grasland	9,3	3,6	33,3	10	8	9	10	36	3,6	28,8	3,6	32,4	3,6	36	3,6	
1270	Vos de	46	2022	Grasland	6,8	2,1	14,2	8	6	5	8	16,8	2,1	12,6	2,1	10,5	2,1	16,8	2,1	
1271	Vos de	6-7	2022	Grasland	9,0	4,5	40,5	10	8	8	8	45	4,5	36	4,5	45	4,5	36	4,5	
1272	Vos de	Gem. tot	Grasland				94,3	7,9			10	8,8	94,3	7,8	94,3	7,6	94,3	7,6	94,3	

</

[illegible]