



Effect van calciumbemesting bij aardappelen

Veldproeven op zand- en dalgrond in 2022 en 2023 te Vredepeel en Valthermond

Noud van Dam
Astrid Berndsen
Romke Postma
Wim Bussink



Referaat

Dam, AM van, Berndsen A, Postma R, Bussink W. 2024, Effect van calciumbemesting bij aardappelen; veldproeven op zand- en dalgrond in 2022 en 2023 te Vredepeel en Valthermond, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1872.N.02, 48 p.

Rapport in het kort

In de praktijk worden er problemen gesignaleerd met de voorziening van calcium (Ca) bij aardappelen. Doel van dit onderzoek was om de beste strategie vast te stellen om preventief een risico op Ca-tekorten te voorkomen. Nagegaan is in hoeverre de timing en plaatsing van Ca-meststoffen in combinatie met een goede vochtvoorziening een goede Ca-voorziening kan borgen. Er zijn in 2022 en 2023 veldproeven uitgevoerd op zandgrond te Vredepeel en dalgrond te Valthermond. In totaal zijn per locatie 32 behandelingen getoetst in een factoriële proef. Daarbij zijn de volgende factoren gevarieerd: beregening (wel/niet), de kaligift (hoog/laag), wijze en tijdstip van Ca-bemesting (vier varianten) en de soort Ca-meststof (twee meststoffen).

© 2024 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding: digitaal

Brancheorganisatie Akkerbouw

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2	
1	Introductie	3
2	Opzet en uitvoering	5
2.1	Opzet veldproef	5
2.2	Uitvoering	7
2.2.1	Grondanalyse proeflocaties	7
2.2.2	Veldactiviteiten en onderhoud	7
2.2.3	Veldwaarnemingen, monsterverzameling en oogst	9
2.2.4	Metingen	9
2.2.5	Statistische data analyse	10
3	Resultaten & discussie	11
3.1	Veldwaarnemingen	11
3.2	Resultaten knolopbrengst, Ca-gehalte en kwaliteit	12
3.3	Resultaten knolkwaliteit na bewaring	17
3.4	Discussie	21
3.4.1	Effect van Ca-bemesting op opbrengst, Ca-gehalte en inwendige kwaliteit	21
3.4.2	K-niveau	22
3.4.3	Berekening	22
3.4.4	Proeflocatie en aardappelras	22
4	Conclusies	23
	Literatuur	24
	Bijlagen	26
	Bijlage 1: Bodemeigenschappen beide proeflocaties	26
	Bijlage 2: Knolopbrengst en inwendige gebreken in relatie tot mineralenconcentraties	28
	Bijlage 3: Compleet overzicht datapunten	31
	Bijlage 4: Resultaten variantie-analyse	36
	Resultaten teeltseizoen 2022	36
	Resultaten teeltseizoen 2023	40

Samenvatting en conclusies

In de praktijk worden er problemen gesignaleerd met de voorziening van calcium (Ca) bij aardappelen. Bij aardappelen is een optimale Ca-voorziening van belang voor een goede productkwaliteit. Wanneer de Ca-voorziening te laag is heeft dat effect op onder andere de inwendige en uitwendige knolkwaliteit en de bewaarkwaliteit. Doel van dit onderzoek was om de beste strategie vast te stellen om preventief een risico op Ca-tekorten te voorkomen. Nagegaan is in hoeverre timing en plaatsing van Ca-meststoffen in combinatie met een goede vochtvoorziening een goede Ca-voorziening kan borgen.

Er is een veldproef opgezet op zandgrond te Vredepeel en dalgrond te Valthermond. De proef is in 2022 voor het eerst uitgevoerd en herhaald in 2023. In Vredepeel zijn consumptieaardappelen (ras Hansa) geteeld en in Valthermond zetmeelaardappelen (ras Seresta). Per locatie zijn 32 behandelingen getoetst in een factoriële proef met als factoren: beregening (wel/niet), kaligift (hoog/laag), wijze en tijdstip van Ca-bemesting (vier varianten) en Ca-meststofsoort (twee meststoffen).

Gedurende de teeltperiode is in 2022 één proefrooiing per veldje uitgevoerd om het Ca-gehalte in de knol te monitoren. Hierbij heeft ook een kwaliteitsbeoordeling van de knollen plaatsgevonden. In beide jaren zijn bij de eindogst de opbrengst en het Ca-gehalte bepaald en zijn een aantal kwaliteitsbeoordelingen uitgevoerd. Daarna zijn de aardappelen opgeslagen en heeft na opslag wederom een kwaliteitsbeoordeling op inwendige gebreken plaatsgevonden.

Op basis van de resultaten van de veldproeven wordt het volgende geconcludeerd:

- De kwaliteitsbepaling van de tussenogst, eindogst en bewaarmonsters en de uiteindelijke knolopbrengst tonen een duidelijk verschil tussen de locaties Valthermond en Vredepeel ($p < 0,001$). Op locatie Valthermond was het aantal knollen met afwijkingen groter dan in Vredepeel, waarbij het tabaksratelvirus in Valthermond waarschijnlijk een rol speelde. De knolopbrengst was in Vredepeel hoger dan in Valthermond. De verschillen tussen de locaties worden met name bepaald door het teeltdoel (consumptie vs zetmeel), het aardappelras (Hansa vs Seresta) en bodemeigenschappen.
- De effecten van Ca-bemesting op het Ca-gehalte, de knolkwaliteit en de knolopbrengst waren op de twee proeflocaties beperkt en slechts in een enkel geval statistisch significant:
 - Op de locatie Valthermond leidde het gebruik van CaCl_2 in 2022 in tegenstelling tot de verwachting tot een significant hoger aantal knollen met inwendige gebreken dan de behandelingen zonder calcium. Ook in 2023 leek calciumtoediening te Valthermond de inwendige gebreken te vergroten, maar toen was dit effect niet significant.
 - De kwaliteitsbepaling van de eindogst en bewaarmonsters laten zien dat het Ca-gehalte in de knollen op zich niet bepalend is voor de knolkwaliteit. Verschillen in knolkwaliteit zijn duidelijk gedifferentieerd naar locatie (ras, bodemeigenschappen, enz.).
- Het effect van de K-gift op de knolkwaliteit en knolopbrengst was in een enkel geval significant:
 - De hoge K-gift van 350 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$ leidde in Valthermond in 2022 tot een significant betere knolkwaliteit na bewaring dan de standaard K-gift van 200 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$.
 - In Vredepeel leidde de hoge K-gift van 350 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$ tot een significant hogere opbrengst dan de standaard K-gift van 200 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$.
- Het effect van wel/niet extra beregenen op de knolkwaliteit was gering en niet significant.

Geconcludeerd kan worden dat Ca-bemesting in de veldproeven uit 2022 en 2023 te Valthermond en Vredepeel niet heeft geleid tot positieve, significante effecten op de opbrengst, het calciumgehalte in de knol en de knolkwaliteit. Calciumbemesting van aardappelen op zandgrond lijkt op basis van deze proeven dan ook niet nodig, aangezien de calciumbeschikbaarheid uit de bodemvoorraad en aanvoer met reguliere meststoffen, zoals dierlijke mest (aanvoer ca. 40-50 kg Ca/ha) en kalkkammonsalpeter (15-32 kg Ca/100 kg N), meer dan voldoende is om de gewasbehoefte (onttrekking door aardappelknollen 3-5 kg Ca/ha) te dekken.

1 Introductie

In de praktijk worden er problemen gesignaleerd met de voorziening van calcium (Ca) bij aardappelen. Daarbij is er niet zozeer een effect van calciumbemesting te verwachten op de opbrengst, maar is een optimale Ca-voorziening bij aardappelen vooral van belang voor een goede productkwaliteit. Wanneer de Ca-voorziening te laag is heeft dat effect op het knolaantal, schurft, de schilkwaliteit, de interne kwaliteit, kieming, aantasting door *Fusarium*, bewaarkwaliteit en o.a. het langer groen blijven (Zwart & Velvis, 2001). In de praktijk worden met name op zandgronden kwaliteitsproblemen gemeld als gevolg van een Ca-tekort. Mogelijk verergeren de kwaliteitsproblemen bij aardappelen als gevolg van een Ca-tekort door een ruime kalibemesting waardoor de Ca-opname wordt onderdrukt.

Oplossingen ter voorkoming van een Ca-tekort worden in de praktijk o.a. gezocht in het toepassen van bladbemesting voor een goede Ca-voorziening (aanvullend op het op orde houden van de pH via bekalken). Bladbemesting met Ca is echter niet effectief (De Pasture, 2016), omdat het Ca de knol niet kan bereiken. Door Ca-meststoffen op de juiste wijze en op het juiste tijdstip dichtbij de wortels te plaatsen, kan de werking van de Ca uit meststoffen die aan de bodem worden toegediend mogelijk wel verbeteren. Meer specifiek zal plaatsing nabij de stolonen naar verwachting het meest effect geven, maar gegevens hierover zijn schaars of gedateerd. Daarnaast is een goede vochtvoorziening van het aardappelgewas van belang om een goede opname van Ca te realiseren. Bekend is dat het ras ook van invloed kan zijn op het probleem. Er zijn een aantal rassen waarin Ca-tekorten vaker voorkomen. Een voorbeeld is het ras Hansa. Ook het ras Innovator en andere rassen waarvan Innovator een kruisingsouder is vertonen relatief vaak (pers. med. Marc Kroonen) problemen.

Het is van belang de kwaliteit van aardappelen te waarborgen. Een slechte kwaliteit van de aardappelen betekent een lagere prijs voor de teler. In een ongunstig geval moet een partij aardappelen worden afgekeurd. De effecten van een slechte kwaliteit zullen vooral bij consumptie- en pootaardappelen tot uiting komen. Zwart en Velvis (2001) hebben bijvoorbeeld uitgerekend dat kwaliteitsverlies de sector alleen al voor pootgoed meer dan 10 miljoen euro kost. Het is lastig te becijferen hoeveel van deze kwaliteitsschade is toe te schrijven aan Ca-gebrek, naast andere mogelijk oorzaken als ziekten. Duidelijk is wel dat het om miljoenen euro's gaat.

De vraag naar meer onderzoek omtrent Ca-bemesting bij aardappelen werd bekrachtigd door een recent uitgevoerde deskstudie (Bussink et al, 2020). Uit deze studie komt naar voren dat focus op het effect van plaatsing van Ca nabij de wortels gewenst is. Plaatsing lijkt de werking te verbeteren maar dit moet met meer zekerheid worden vastgesteld. Daarom zijn in 2022 en 2023 veldproeven met aardappelen uitgevoerd om inzicht te krijgen in de effectiviteit van plaatsing van calcium nabij de wortel. Daarbij zijn onder andere het effect van aanvullende Ca-bemesting, de soort Ca-meststof en het tijdstip van toediening op de productkwaliteit van aardappel onderzocht. Hierbij is op een locatie een Ca-gevoelig aardappelras (Hansa) gebruikt om na te gaan in hoeverre de Ca-opname wordt beïnvloed door een aangepast bemestingsbeheer in relatie tot de vochtvoorziening en in hoeverre een suboptimale productkwaliteit daarmee kan worden voorkomen.

Doel van dit onderzoek is om de beste strategie vast te stellen om preventief een risico op Ca-tekorten bij aardappelen te voorkomen. Nagegaan wordt in hoeverre timing en plaatsing van Ca-meststoffen in combinatie met een goede vochtvoorziening een goede Ca-voorziening van aardappelen kan borgen. Dit moet uitmonden in praktische aanbevelingen omtrent de Ca-bemesting en het gewasmanagement om zo het risico van Ca-tekorten te minimaliseren.

2 Opzet en uitvoering

2.1 Opzet veldproef

Om vast te stellen wat de beste strategie is om preventief het risico op Ca-tekorten in aardappelknollen te voorkomen is een veldproef opgezet. Zo kan worden nagegaan in hoeverre plaatsing van Ca-meststoffen in combinatie met een goede vochtvoorziening een goede Ca-voorziening kan borgen. Daarnaast is ook gekeken naar de interactie met de K-voorziening.

De veldproef is opgezet op twee zandlocaties, de eerste op WUR-proeflocatie Vredepeel (De Peel, Limburg) en de ander op WUR-proeflocatie Valthermond (Veenkoloniën, Drenthe). In Vredepeel zijn consumptieaardappelen (ras: Hansa) gepoot en in Valthermond zetmeelaardappelen (ras: Seresta). In totaal zijn per locatie 32 behandelingen getoetst in enkelvoud in een factoriële proef. Daarbij zijn de volgende factoren gevarieerd:

- Twee opties voor berekening:
 - Wel extra beregenen
 - Niet extra beregenenWanneer er wel extra berekend wordt, vindt dat in Vredepeel 5 keer extra plaats en in Valthermond maximaal 3 keer extra. Dit om een optimale vochtvoorziening te realiseren.
- Twee K-niveaus:
 - Laag (standaard adviesgift)
 - Hoog (standaard adviesgift + 150 kg K₂O/ha extra)
- Vier wijzen van Ca-bemesting die verschillen in timing en plaatsing van de Ca-gift:
 - Geen
 - Volvelds vóór poten
 - Tijdens poten op de knol in de pootruggen
 - Vlak voor de late rugopbouw bij knolzetting + inwerken
- Twee goed oplosbare Ca-meststoffen
 - CaSO₄: 440 kg/ha (46% CaO, 55% SO₃), ofwel 202 kg CaO/ha
 - CaCl₂: 400 kg/ha (36,3% Ca, ofwel 51% CaO), ofwel 202 kg CaO/ha.

In aanvulling op bovenstaande varianten in de bemesting is op de beide proeflocaties in beide jaren een basisbemesting uitgevoerd met dierlijke mest. In Valthermond is in beide jaren 25 m³/ha van een silomix (6 kg N, 2 kg P₂O₅ en 6 kg K₂O) toegediend en in Vredepeel is in 2022 30 m³/ha rundveedrijfmest toegediend (4,2 kg N, 1,5 kg P₂O₅ en 5,4 kg K₂O) en in 2023 35 m³/ha (4,0 kg N, 1,4 kg P₂O₅ en 4,4 kg K₂O). Uitgaande van een gehalte van 1,5 kg Ca per ton rundveedrijfmest (Hoeksma et al., 2011), is hiermee ook ca. 38-53 kg Ca/ha (ofwel 52-73 kg CaO/ha) aangevoerd.

Een volledig overzicht van de 32 verschillende behandelingen per locatie is weergegeven in Tabel 2-1. De factoriële proef is per locatie opgezet in enkelvoud, waarbij de twee locaties als herhalingen kunnen worden beschouwd. Voordeel van deze proefopzet is dat er voor het effect van de Ca-meststof sprake

is van 24 herhalingen (12 herhalingen per proef) en voor de timing en plaatsing van 16 herhalingen (8 herhalingen per proef).

Tabel 2-1: Overzicht van de verschillende behandelingen per locatie in teeltseizoen 2022.

Nr	Aanvullende calcium	Tijdstip	K ₂ O-niveau K50	Berekening
1		geen	200	geen
2	440 kg/ha CaSO ₄	voor poten	200	geen
3	440 kg/ha CaSO ₄	op de knol tijdens poten	200	geen
4	440 kg/ha CaSO ₄	bij knolzetting + inwerken	200	geen
5		geen	350	geen
6	440 kg/ha CaSO ₄	voor poten	350	geen
7	440 kg/ha CaSO ₄	op de knol tijdens poten	350	geen
8	440 kg/ha CaSO ₄	bij knolzetting + inwerken	350	geen
9		Geen	200	geen
10	400 kg/ha CaCl ₂	voor poten	200	geen
11	400 kg/ha CaCl ₂	op de knol tijdens poten	200	geen
12	400 kg/ha CaCl ₂	bij knolzetting + inwerken	200	geen
13		geen	350	geen
14	400 kg/ha CaCl ₂	voor poten	350	geen
15	400 kg/ha CaCl ₂	op de knol tijdens poten	350	geen
16	400 kg/ha CaCl ₂	bij knolzetting + inwerken	350	geen
17		geen	200	wel
18	440 kg/ha CaSO ₄	voor poten	200	wel
19	440 kg/ha CaSO ₄	op de knol tijdens poten	200	wel
20	440 kg/ha CaSO ₄	bij knolzetting + inwerken	200	wel
21		Geen	350	wel
22	440 kg/ha CaSO ₄	voor poten	350	wel
23	440 kg/ha CaSO ₄	op de knol tijdens poten	350	wel
24	440 kg/ha CaSO ₄	bij knolzetting + inwerken	350	wel
25		Geen	200	wel
26	400 kg/ha CaCl ₂	voor poten	200	wel
27	400 kg/ha CaCl ₂	op de knol tijdens poten	200	wel
28	400 kg/ha CaCl ₂	bij knolzetting + inwerken	200	wel
29		Geen	350	wel
30	400 kg/ha CaCl ₂	voor poten	350	wel
31	400 kg/ha CaCl ₂	op de knol tijdens poten	350	wel
32	400 kg/ha CaCl ₂	bij knolzetting + inwerken	350	wel

De aardappelen zijn in april/mei gepoot en in september/november geoogst. Gedurende de teeltperiode is in 2022 één proefrooiing (in drievoud) per veldje uitgevoerd om het Ca-gehalte in de knol te monitoren¹. Bij de eind oogst zijn de knolmonsters beoordeeld en eveneens onderzocht op het Ca-

¹ De resultaten van de tusse oogst zijn enkel opgenomen voor seizoen 2022, in het rapport over de resultaten van het eerste jaar. In dit rapport worden alleen de knolmonsters van de eind oogst en de knolmonsters uit de bewaring meegenomen (beoordeeld februari-maart).

gehalte. Daarna zijn de aardappelen opgeslagen en heeft na afloop van de bewaring een beoordeling op uitwendige en inwendige knolkwaliteit plaatsgevonden.

In het tweede teeltseizoen zijn er enkele aanpassingen aangebracht in de proefopzet. Voor beide locaties is CaCl_2 vanwege het risico van zoutschade (wat in eerste jaar ook is waargenomen) vervangen door kalksalpeter ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Verder is de toegediende hoeveelheid Ca in 2023 op beide locaties gehalveerd tot een niveau van 100 kg CaO/ha, vanwege de beperkte afvoer van Ca door de aardappelknollen (ca. 3-5 kg Ca/ha).

2.2 Uitvoering

De proef is uitgevoerd in samenwerking tussen NMI en WUR Open teelten. Voor de uitvoering van het proeftechnische deel is gebruik gemaakt van de proefveldendienst van WUR Open teelten.

2.2.1 Grondanalyse proeflocaties

Op de locatie Valthermond is op 23 januari 2020 een grondanalyse uitgevoerd van het perceel waarop de proef in 2022 was gelegen (zie Bijlage 1). Het betreft een dalgrond met een organische stofgehalte van 11,5%. Het direct beschikbaar (of: plantbeschikbaar) fosfor (P- CaCl_2) op de locatie Valthermond was 4,0 mg/kg (11,1 kg P/ha), de pH was 5,0 en het direct beschikbaar kalium (K- CaCl_2) was 102 mg K/kg (280 kg K/ha.) De direct beschikbare hoeveelheid calcium was 105 kg Ca/ha en wordt daarmee door Eurofins ingedeeld in de klasse 'vrij laag'. Het meest recente resultaat van algemeen grondonderzoek op het perceel waarop in 2022 de proef te Vredepeel was gelegen geeft een organisch stofgehalte van 4,3% aan (zie Bijlage 1). Op locatie Vredepeel was het direct beschikbaar fosfor 2,1 mg P/kg (6,9 kg P/ha), de pH was 5,8, het direct beschikbaar kalium was 36 mg K/kg (120 kg K/ha) en het direct beschikbare calcium was 80 kg Ca/ha, waarmee het evenals in Valthermond als 'vrij laag' werd beoordeeld.

In 2023 werden er andere proefvelden gebruikt dan in 2022. De resultaten uit het meest recente grondonderzoek uit 2021 zijn vergelijkbaar, maar niet hetzelfde. Het organische stofgehalte is 10,6%. Het direct beschikbaar fosfor op de locatie Valthermond was 3,5 mg P/kg (9,5 kg P/ha), de pH was 5,2 en het direct beschikbaar kalium was 189 mg K/kg (515 kg K/ha). De hoeveelheid beschikbaar Ca was 175 kg/ha en wordt, net als het proefveld van 2022, door Eurofins ingedeeld in de klasse 'vrij laag'. Het meest recente grondonderzoek van het in 2023 gebruikte proefveld in Vredepeel, is van november 2019. Het organische stofgehalte is 4,4%. Het direct beschikbaar fosfor is 3,8 mg P/kg (12,4 kg P/ha), de pH was 5,3, het plantbeschikbare kalium was 27 mg K/kg (90 kg K/ha) en het plantbeschikbare calcium was 25 kg Ca/ha. Zowel het plantbeschikbare kalium als calcium werden beoordeeld als 'laag'.

2.2.2 Veldactiviteiten en onderhoud

Per locatie zijn 32 veldjes van 6 m x 10 m (bruto) uitgezet. De aardappelen zijn gepoot met een rijenafstand van 75 cm. In Vredepeel zijn de aardappelen in 2022 gepoot op 22 april en in Valthermond op 11 mei. Bemesting van N en K_2O heeft plaatsgevonden conform praktijk met standaard dierlijke mest aan de basis, aangevuld met Ureum 46%. Onkruid-, plaag en ziektebestrijding en beregening zijn ook conform de praktijk uitgevoerd. In geval van extra beregening is in Vredepeel 5 maal en in Valthermond 3 maal extra beregend.

In 2023 zijn de aardappelen gepoot op 4 mei 2023 in Vredepeel en op 12 mei in Valthermond. Bemesting van N, P en K_2O heeft op Valthermond plaatsgevonden conform praktijk met standaard dierlijke mest aan de basis, aangevuld met KAS (kalkammonsalpeter) en TSP (tripelsuperfosfaat). Op Vredepeel is de standaardgift dierlijke mest aangevuld met KAS en K60. Ook in dit jaar zijn de onkruid-, plaag en ziektebestrijding en beregening conform de praktijk uitgevoerd. In geval van extra beregening is in Vredepeel 5 maal en in Valthermond 3 maal extra beregend.

Toediening van Ca-meststoffen

In Valthermond heeft toediening van CaSO_4 en CaCl_2 zowel vóór het poten als tijdens het poten plaatsgevonden op 10 en 11 mei 2022. De toediening van Ca-meststoffen bij knolzetting heeft plaatsgevonden op 16 juni 2022. Daarbij is de CaCl_2 tussen de rijen van het gewas gestrooid omdat in een eerder stadium bleek dat CaCl_2 zoutschade gaf. In Vredepeel is bemesting met CaSO_4 en CaCl_2 gebeurd zowel vóór het poten als tijdens het poten op 22 april 2022. De toediening van de Ca-meststoffen bij knolzetting heeft plaatsgevonden op 24 mei 2022.

In het jaar 2023 vond in Valthermond de toediening van CaSO_4 en kalksalpeter ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) zowel vóór het poten als tijdens het poten plaats op 12 mei. De toediening van Ca-meststoffen bij knolzetting vond plaats op 26 mei, precies 2 weken later. Dit is een stuk vroeger dan in 2022, waarin het verschil tussen de pootdatum en de plaatsing van Ca-meststoffen bij knolzetting 5 weken bedraagt. In het tweede seizoen op Vredepeel vond de toediening van de calciummeststoffen vóór het poten als tijdens het poten plaats op de pootdatum, 4 mei 2023. De bemesting bij knolzetting vond plaats op 5 juni.

Berekening

Op locatie Valthermond is op percelen waar volgens het schema extra berekening plaatsvindt (percelen 17 t/m 32) in totaal 63 mm extra water toegediend ten opzichte van de percelen die geen extra berekening krijgen (Tabel 2-2). In Vredepeel was dit 60 mm.

Tabel 2-2: Overzicht van berekening op locaties Vredepeel en Valthermond in beide teeltseizoenen

Seizoen 2022					
Vredepeel			Valthermond		
Datum	Hoeveelheid (mm)	Percelen	Datum	Hoeveelheid (mm)	Percelen
2 juni	10	17 t/m 32	29 jun	21	17 t/m 32
15 juni	10	17 t/m 32	30 jun	21	17 t/m 32
17 juni	10	17 t/m 32	6 jul	21	17 t/m 32
19 juni	20-25	Alle	15 jul	30	Alle
1 juli	10	17 t/m 32	25 jul	35	Alle
7 juli	10	17 t/m 32	9 aug	35	Alle
8 juli	20 - 25	Alle			
14 juli	10	17 t/m 32			
16 juli	25-30	Alle			
27 juli	25-30	Alle			
10 aug	25-30	Alle			
20 aug	25-30	Alle			
Seizoen 2023					
9 jun	10	17 t/m 32	9 jun	14	17 t/m 32
9 jun	10	17 t/m 32	14 jun	30	Alle
15 jun	25-30	Alle	16 jun	21	17 t/m 32
22 jun	25-30	Alle	26 jun	30	Alle
30 jun	15	17 t/m 32	24 aug	21	17 t/m 32
12 jul	15	17 t/m 32			
14 jul	25-30	Alle			

2.2.3 Veldwaarnemingen, monsterverzameling en oogst

Tussen mei en september 2022 zijn visuele waarnemingen gedaan om eventuele visuele verschillen tussen gewassen vast te stellen, zie Figuur 2-1 ter illustratie.



Figuur 2-1: Foto's van het proefveld te Valthermond (rechts) en Vredepeel (links) in groeiseizoen 2022.

Begin augustus 2022 zijn knolmonsters (ca. 20 knollen per veldje) verzameld van alle proefveldjes op beide locaties, in Vredepeel op 3 augustus en in Valthermond op 2 augustus. Van deze monsters is in een tussentijdse kwaliteitsbepaling gedaan en is in de monsters tevens het Ca-gehalte bepaald (zie verderop). Deze tussentijdse beoordeling en analyse van het Ca-gehalte is alleen uitgevoerd in het eerste proefjaar.

In 2022 zijn de aardappelen in Vredepeel geoogst (eindoogst) op 28 september en in Valthermond op 3 november. In het tweede proefjaar zijn de aardappelen geoogst op 11 oktober 2023 in Vredepeel en op 30 oktober in Valthermond. Hierbij is van elk perceel een representatief monster van 10 kg knollen genomen ter bewaring.

2.2.4 Metingen

Algemene samenstelling aardappelen

De minerale gehalten van zowel de knolmonsters die tussentijds (2022) als die bij de eindoogst (2022 en 2023) zijn genomen, zijn bepaald in het lab van Eurofins Agro. Daarbij zijn onder andere het droge stofgehalte, Ca-gehalte, K-gehalte en de gehalten van verschillende sporenelementen bepaald.

Bepaling knolopbrengst en sortering

Na de oogst is de opbrengst (ton/ha), het aantal aardappels, de sortering en het onderwatergewicht (met daarvan afgeleid het zetmeelgehalte) van de knollen bepaald. De Seresta knollen uit Valthermond zijn gesorteerd op een diameter van < 40mm, 40-50mm, 50-70mm en > 70mm, die respectievelijk categorie 1 t/m 4 representeren. Daarbij zijn het aantal en het gewicht per sortering bepaald. De Hansa aardappelen uit Vredepeel zijn eveneens over categorieën 1 t/m 4 gesorteerd, waarbij de categorieën respectievelijk een diameter representeren van < 30mm, 30-40mm, 40-50mm en > 50mm.

Kwaliteitsbepaling

De beoordeling van de knollen bij de tusseñoogst van 2022 heeft plaatsgevonden aan de hand van verschillende kwaliteitskenmerken in het laboratorium van NMI te Wageningen (Figuur 2-2). Het aantal knollen met uitwendige afwijkingen is bepaald op basis van vier factoren: scheuren, schurft, gaatjes en/of overige afwijkingen. Het aantal knollen met inwendige gebreken is beoordeeld aan de hand van

bruinkleuring, holle harten, kleine vlekken, verkleuring en overige inwendige gebreken. De knolkwaliteit is bepaald aan de hand van de som van het aantal knollen met afwijkingen. Verder is het zetmeelpercentage van de knollen bekeken.

De knolmonsters afkomstig van de percelen uit Vredepeel zijn gewassen op 4 augustus 2022 en uitwendig beoordeeld op 4 en 5 augustus. Bij het wassen (om zand van de aardappels te halen) is de schil van de meeste knollen losgekomen, waardoor beoordeling op schurft en andere oppervlakkige uitwendige gebreken niet mogelijk was.

De tussentijdse kwaliteitsbepaling van de knolmonsters uit Valthermond heeft plaatsgevonden op 8 augustus. Ook bij monsters uit Valthermond is de schil van sommige knollen losgekomen, alhoewel dat een stuk minder was dan bij de monsters uit Vredepeel.



Figuur 2-2: Kwaliteitsbepaling van aardappelknollen bij de tussenoogst van 2022 in het laboratorium

Van beide locaties zijn bij de eindoogst ongesorteerde bewaarmonsters achtergehouden, waarvan het inweeggewicht vóór bewaring, het gewicht na bewaring en het onderwatergewicht (OWG) zijn bepaald. Daarnaast zijn ook de uitwendige en inwendige kwaliteit beoordeeld (o.a. roest, bruine vlekken, holle harten). Na de bewaring zijn de knollen opnieuw beoordeeld op inwendige gebreken (o.a. bruine vlekken, holle harten). Voor de locatie Vredepeel heeft dit plaatsgevonden op 2 februari 2023 (1^e teeltseizoen) en 25 januari 2024 (2^e teeltseizoen). De bewaarmonsters uit Valthermond zijn beoordeeld op 15 maart 2023 en op 7 februari 2024 (2^e teeltseizoen).

2.2.5 Statistische data analyse

Er is een variantie-analyse uitgevoerd om na te gaan of de effecten van de behandelingen statistisch significant waren, waarbij is getoetst bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% ($P < 0,05$). Daarbij is met extra aandacht gekeken naar het effect van Ca-bemesting op de knolopbrengst, het calciumgehalte en de kwaliteit van de knollen. Eerst zullen de hoofdeffecten worden geanalyseerd en als die effecten significant zijn zal vervolgens worden gekeken naar interacties tussen factoren.

Statistische analyse van de data en visualisatie van de resultaten is gebeurd in Rstudio gebruikmakend van R en verschillende packages (Dowle et al., 2021; Wickham et al., 2022a; Wickham et al., 2022b).

3 Resultaten & discussie

3.1 Veldwaarnemingen

Op basis van veldwaarnemingen is geconstateerd dat op zowel locatie Valthermond als locatie Vredepeel in 2022 sprake was van zoutschade in de behandelingen met CaCl_2 (figuur 3-1). De aangebrachte CaCl_2 is een sterk geconcentreerd product. Dit product is zeer hygroscopisch en heeft daardoor wellicht de zoutschade veroorzaakt. Hoewel de CaCl_2 niet tot significant lagere opbrengsten of een hoger aantal gebreken in de knollen heeft geleid, is er na een bespreking van het tussentijdse rapport over 2022 met de begeleidingsgroep (CBAV) voor gekozen om voor teeltjaar 2023 kalksalpeter ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) te gebruiken in plaats van CaCl_2 .



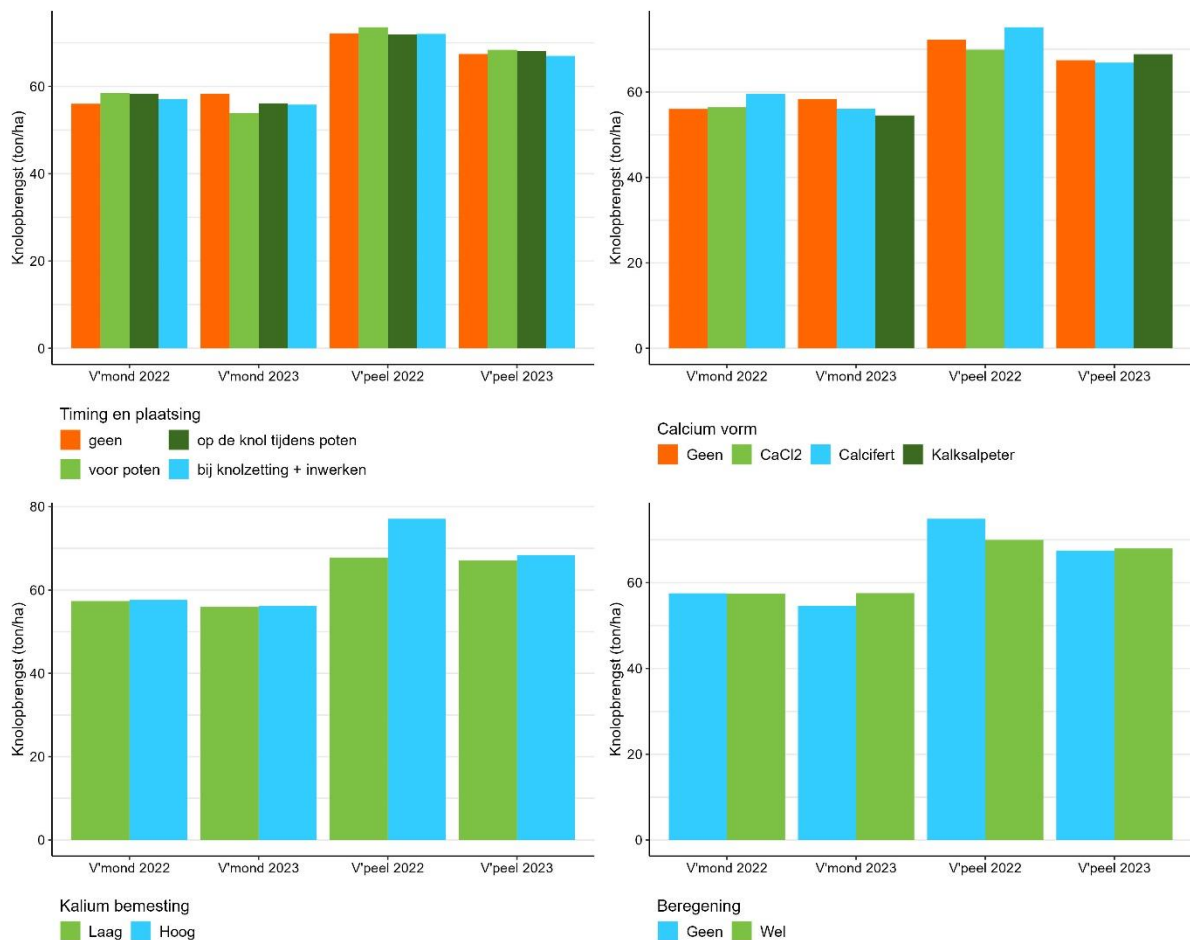
Figuur 3.1. Overzicht van de veldproef te Valthermond in juni 2022 met gedeelte met slechte opkomst door zoutschade in een behandeling met CaCl_2 (foto: J. Specken).

3.2 Resultaten knolopbrengst, Ca-gehalte en kwaliteit

Opbrengst van de knollen

De effecten van timing en plaatsing van Ca-meststoffen, het effect van de meststofkeuze (CaSO_4 vs CaCl_2 (2022) of $\text{Ca(NO}_3)_2$ (2023)), een lage en een hoge K-gift (200 vs 350 kg $\text{K}_2\text{O/ha}$) en wel/geen beregening op de verse knolopbrengst zijn weergegeven in Figuur 3-1. De effecten van calciumbemesting op de knolopbrengst zijn klein en in geen geval significant (bijlage 4).

Uit de statistische analyse van alle 4 de proeven gezamenlijk, blijkt dat het effect van de hoogte van de K-gift op opbrengst significant was ($P < 0,05$). Dat geldt ook voor de interactie tussen locatie x K-gift ($P < 0,05$), waarbij het opbrengstverschil in Vredepeel wel en in Valthermond niet significant was. Een hogere K-gift leidde in Vredepeel in 2022 tot een significant hogere knolopbrengst dan de standaard K-gift, terwijl er in Valthermond geen effect van K op de knolopbrengst werd waargenomen. In 2023 waren de effecten van de K-gift op opbrengst op beide locaties niet significant. Extra beregening had op beide locaties geen effect op de knolopbrengst.



Figuur 3-1: Effecten van de timing en plaatsing van Ca-meststoffen (linksboven), de keuze van de Ca-meststof (rechtsboven), de K-gift (linksonder) en beregening (rechtsonder) op de verse knolopbrengst te Valthermond (V'mond) en Vredepeel (V'peel) in 2022 en 2023.

Ca-gehalte van de knollen bij oogst

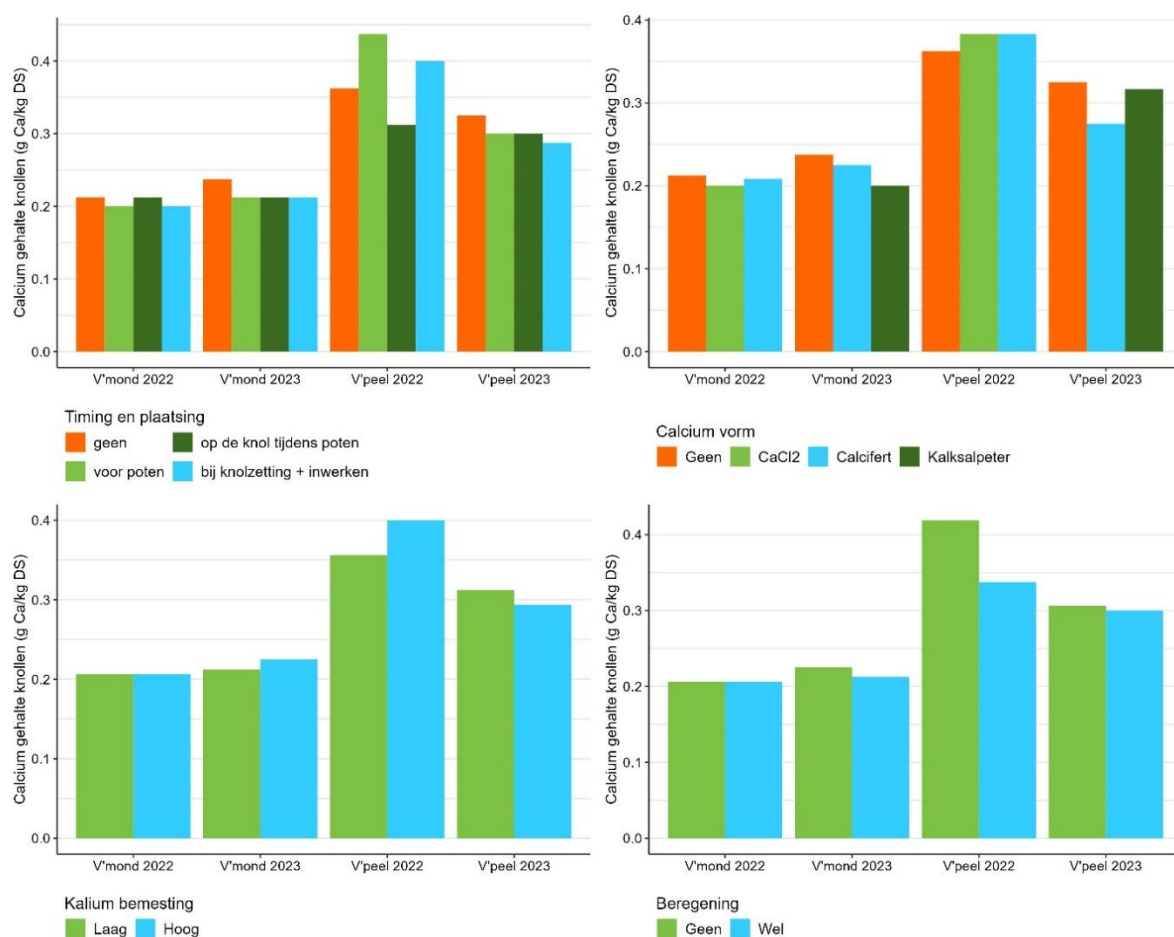
Er was sprake van een significant verschil ($p < 0,001$) in het Ca-gehalte van de knollen tussen locaties Vredepeel en Valthermond. Het Ca-gehalte in Vredepeel was veel hoger dan in Valthermond. Het gemiddelde Ca-gehalte over beide proefjaren bedroeg in Vredepeel 0,34 g Ca/kg droge stof en in

Valthermond 0,21 g Ca/kg droge stof. Bij 59% van de knolmonsters uit Valthermond is gebleken dat de Ca-gehalten van de knollen onder de detectielimiet van 0,2 g Ca per kg droge stof valt. Duidelijk is dat de opgenomen hoeveelheid Ca bij de knollen in Valthermond van gemiddeld 3,0 kg Ca/ha, laag is². Hierdoor is het niet eenvoudig om een duidelijk verloop in Ca-gehalten waar te nemen en gelden de statistische toetsen die uitgevoerd zijn op de waarnemingen uit Valthermond minder sterk.

De effecten van calciumbemesting op het Ca-gehalte zijn klein en in een enkel geval zijn de verschillen tussen behandelingen significant (bijlage 4). Voor wat betreft meststoftype is alleen in Vredepeel 2023 het verschil tussen geen bemesting en CaSO₄ bemesting significant, waarbij toediening van CaSO₄ een lager Ca-gehalte gaf dan het achterwege laten van een Ca-gift. Dat is opmerkelijk en onverklaarbaar.

Verschillen in kaliumbemesting in relatie tot Ca-gehalte waren alleen waarneembaar op locatie Vredepeel, waar een hogere kaliumbemesting in 2022 in tegenstelling tot de verwachting leidde tot een hoger Ca-gehalte in knollen, terwijl in 2023 het tegenovergestelde effect werd waargenomen. Deze effecten waren echter niet significant ($p > 0,05$).

Effecten van beregening waren alleen significant te Vredepeel, aangezien extra beregening daar in 2022 tot een significant lager Ca-gehalte leidde. In 2023 was dat effect niet aanwezig en in Valthermond was er ook niet of nauwelijks sprake van een effect van beregening op het Ca-gehalte.

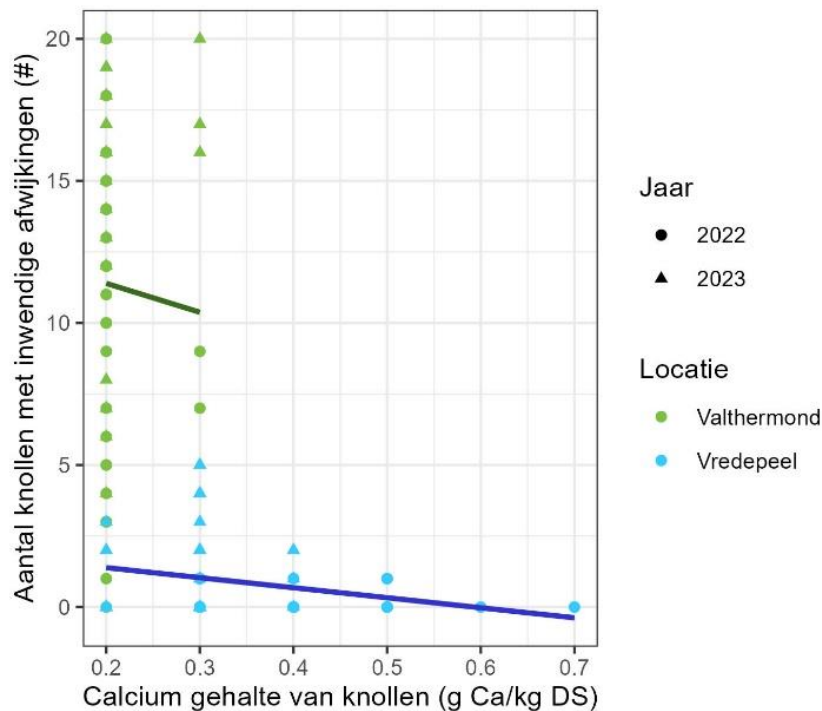


Figuur 3-2: Effecten van de timing en plaatsing van Ca-meststoffen (linksboven), de keuze van de Ca-meststof (rechtsboven), de K-gift (linksonder) en beregening (rechtsonder) op het Ca-gehalte in aardappelknollen van de eindogst in 2022 en 2023.

² De hoeveelheid opgenomen Ca is uitgerekend door de droge stofopbrengst (DS/ha) te vermenigvuldigen met het Ca-gehalte in de knol (g Ca/kg DS). Aangezien 59% van de monsters uit Valthermond een Ca-gehalte van onder de detectiegrens van 0,2 g/kg DS kent, is het aannemelijk dat de daadwerkelijke Ca-opname door de knollen nog lager ligt dan 3,0 kg Ca/ha.

Figuur 3-3 toont het Ca-gehalte van de knollen in relatie tot en het aantal knollen met inwendige gebreken (op moment van oogsten). Over het geheel lijkt een hoger Ca-gehalte te correleren met een lager aantal knollen met gebreken. Dit correlatieve verband is significant ($p < 0,001$) als we naar alle observaties kijken, maar zodra we de locatie als een onderscheidende factor toevoegen, blijkt het effect van locatie significant te zijn, maar het effect van een hoger Ca-gehalte³ niet. Met andere woorden, het aantal knollen met inwendige gebreken is beter te verklaren door de teeltlocatie (bestaande uit o.a. andere ras-, bodem- en klimaateigenschappen) dan door het calciumgehalte van de knollen.

In Bijlage is in Figuur 0-2 en Figuur 0-3 het aantal knollen met inwendige gebreken weergegeven in relatie tot de gehalten aan Ca, K, P, Mg, S en Fe .



Figuur 3-3: Effect van Ca-gehalte op het aantal knollen met inwendige afwijkingen van de oogstmonsters. Let op het grote aantal waarnemingen dat zich op de detectiegrens van 0,2 g Ca/kg DS bevindt. Van de waarnemingen die op 0,2g Ca/kg DS zijn weergegeven, heeft 46% van de waarnemingen daadwerkelijk een gehalte van 0,2 g Ca/kg DS, terwijl 54% van de waarnemingen onder de detectiegrens van 0,2 g Ca/kg DS valt.

Inwendige knolkwaliteit van de knollen bij oogst

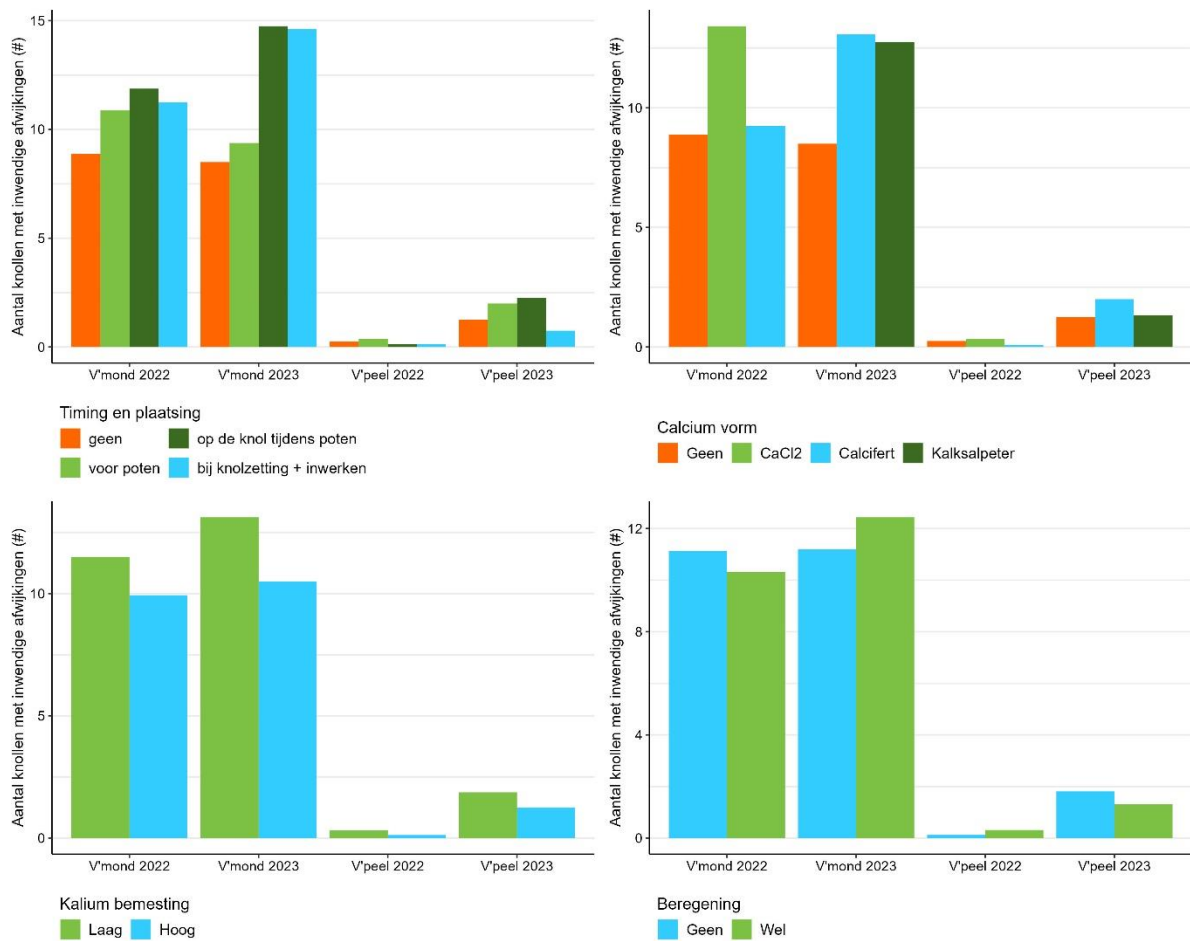
Opmerkelijk is dat het aantal knollen met gebreken bij oogst in Valthermond een stuk hoger lag dan in Vredepeel (Figuur 3-4). Waarschijnlijk was er in Valthermond sprake van aantasting van de knollen door het tabaksratelvirus (persoonlijk mededeling J. Specken, WUR). Op locatie Vredepeel was in 2023 ten opzichte van 2022 een duidelijk verhoogd aantal knollen met gebreken te zien. Hoewel in Valthermond in 2023 ook meer gebreken waren geobserveerd, bleek dit verschil niet significant ten opzichte van de situatie in 2022.

³ De Residual Sum of Squares is bij het eerste model (*Inwendige gebreken ~ Ca gehalte*) 3723, terwijl deze bij het tweede model (*Inwendige gebreken ~ Locatie + Ca gehalte*) 2098, wat duidelijk aangeeft dat het tweede model een nauwkeurigere schatting geeft dan het eerste model.

In Valthermond leidde het gebruik van CaCl_2 in 2022 tot significant meer knollen met gebreken dan zonder Ca-meststof (Figuur 3-5). Dit zou te verklaren kunnen zijn door de eerder genoemde zoutschade die mogelijk is opgetreden. In 2023 leek Ca-toediening bij beide Ca-meststoffen te Valthermond echter weer te leiden tot meer inwendige gebreken dan de controle zonder Ca-toediening. Dit effect was niet significant. Verder is er ook grote variatie waarneembaar tussen behandelingen in timing en plaatsing, maar zonder dat dit effect significant is. Extra beregening of het toedienen van extra K had op beide locaties in beide jaren geen significant effect op het aantal knollen met interne gebreken.



Figuur 3-4: Vers geoogste knolmonsters in 2023, met links de Seresta aardappelen uit Valthermond (veel gebreken) en rechts de Hansa aardappelen uit Vredepeel (nauwelijks gebreken).

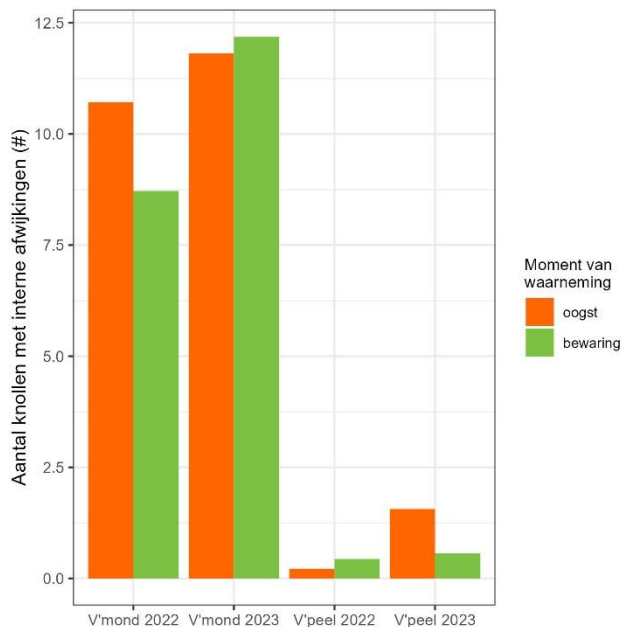


Figuur 3-5: Effecten van de timing en plaatsing van Ca-meststoffen (linksboven), de keuze van de Ca-meststof (rechtsboven), de K-gift (linksonder) en beregening (rechtsonder) op het aantal knollen met inwendige gebreken van vers geoogste knolmonsters.

3.3 Resultaten knolkwaliteit na bewaring

Inwendige knolkwaliteit na bewaring

In Figuur 3-6 is te zien hoe de inwendige kwaliteit van knolmonsters verschilt tussen oogst en bewaring. Verwacht mag worden dat de inwendige kwaliteit van aardappels achteruitgaat naarmate ze langer worden bewaard. Echter, het verschil tussen oogst- en bewaarmonsters was alleen significant bij Vredepeel 2023.



Figuur 3-6: Aantal knollen met inwendige afwijkingen (per 20 knolmonsters) bij oogst en na bewaring.

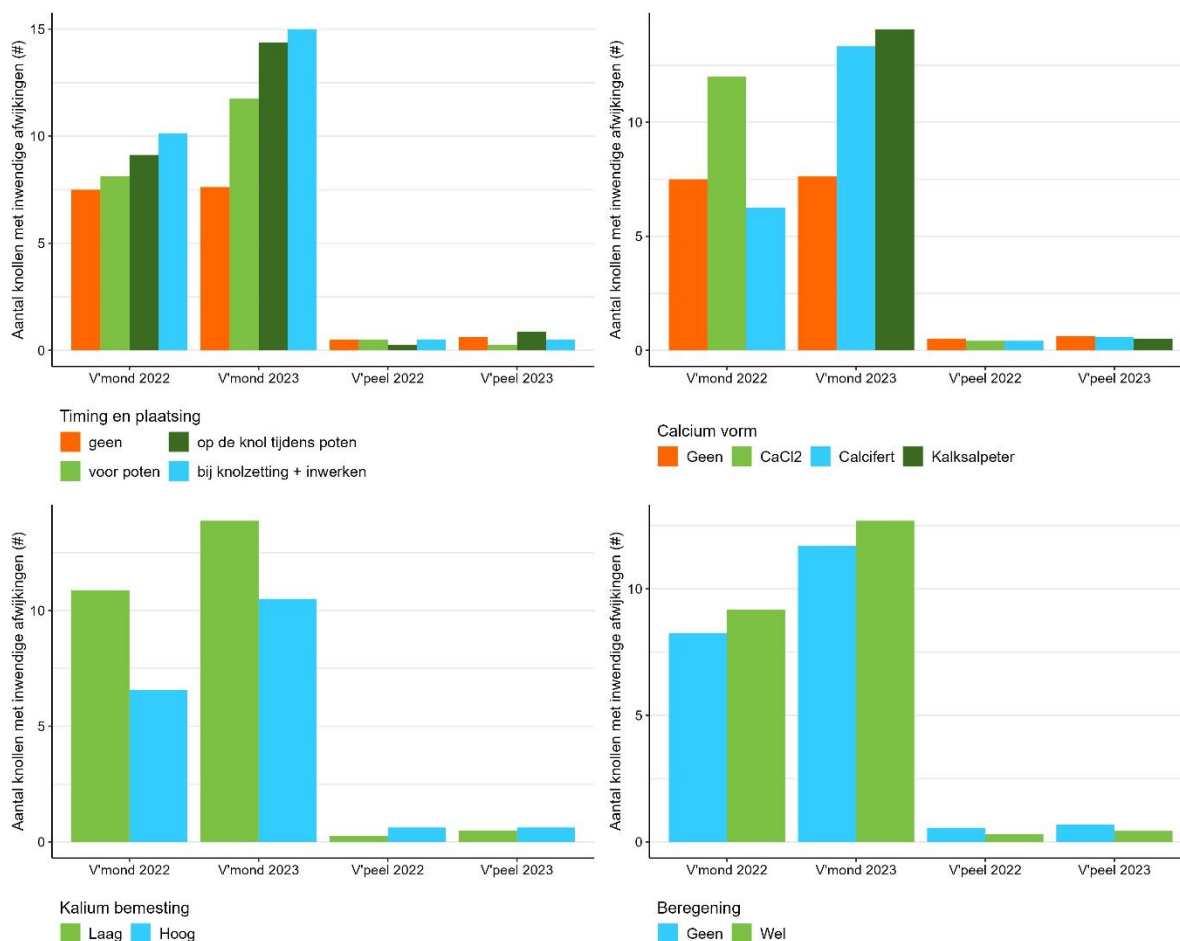
De effecten van timing en plaatsing van Ca-meststoffen, de meststofkeuze, een lage en een hoge K-gift en wel/geen beregening op de kwaliteit van de knol na bewaring is weergegeven in Figuur 3-7. In Vredepeel is alleen gekeken naar het aantal knollen met inwendig bruin, terwijl voor Valthermond alle soorten inwendige gebreken zijn meegeteld.

De effecten van calciumbemesting op het aantal knollen met gebreken na bewaring waren alleen voor Valthermond in 2022 significant, maar waren tegengesteld aan de verwachting aangezien de toediening van calcium leidde tot een verhoging van het aantal knollen met gebreken. Het gebruik van CaCl_2 leidde tot een significant ($p < 0,01$) hoger aantal knollen met gebreken dan het gebruik van CaSO_4 . De variatie in het aantal knollen met gebreken is evenzeer voor 2023 groot op locatie Valthermond. Het aanbrengen van $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ of CaSO_4 resulteerde hier in meer gebreken, hoewel deze verschillen niet significant waren ($p = 0,07$). Het Ca-gehalte van de knollen lijkt hierbij geen rol te spelen, aangezien er onderling geen significante verschillen in Ca-gehalte zijn tussen de knollen bemest met CaCl_2 en CaSO_4 (2022) of CaSO_4 en $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (2023) in Valthermond.

Een hogere K-gift leidde op Valthermond in 2022 tot een significant lager aantal knollen met gebreken na bewaring dan de standaard K-gift. Eenzelfde patroon is op Valthermond zichtbaar in het jaar 2023, maar hier is het verschil niet significant. Op Vredepeel is geen significant effect van K op het aantal knollen met gebreken waargenomen.

Voor wat betreft beregening is in 2022 en 2023 een vergelijkbaar patroon waarneembaar op Valthermond: extra (wel) beregenen resulteert in iets meer gebreken, hoewel niet significant

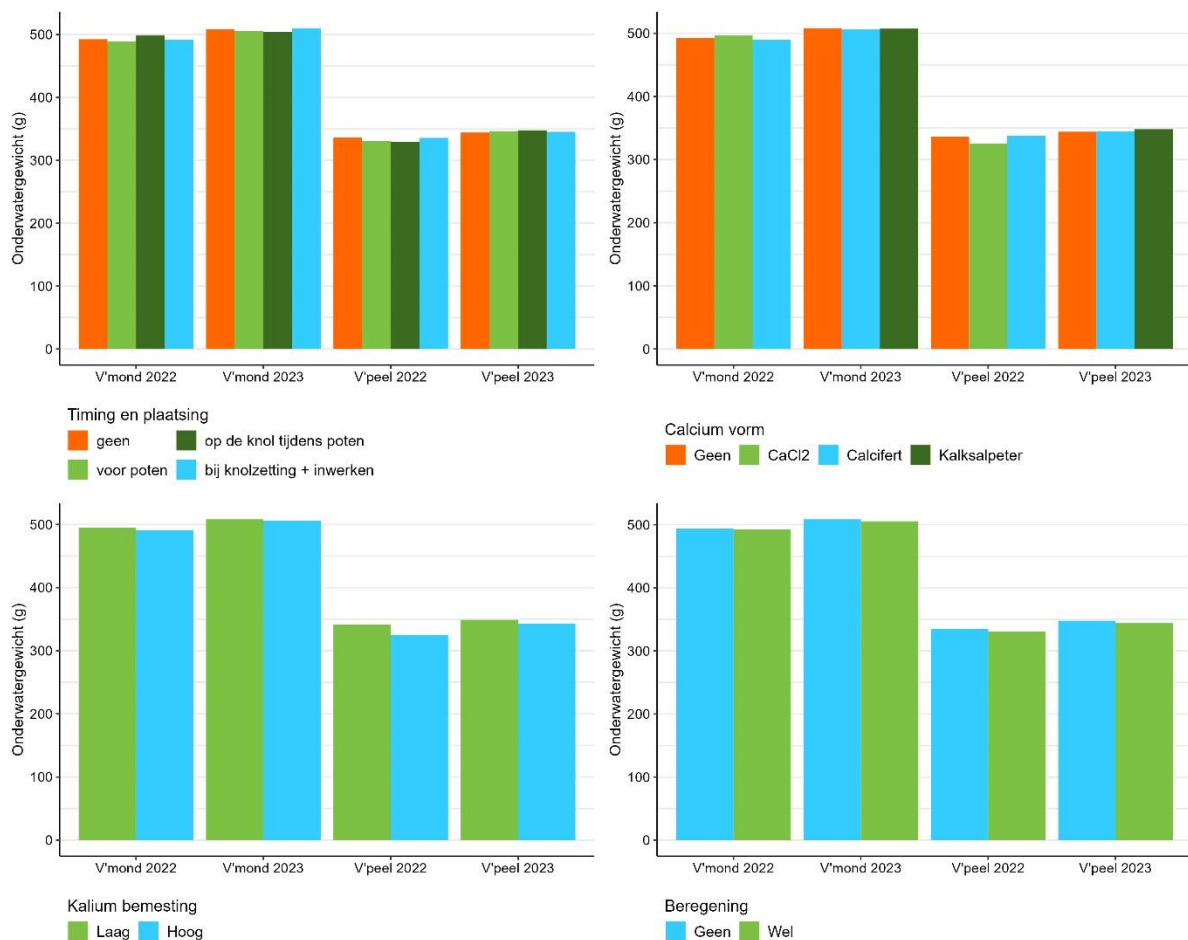
verschillend. Op Vredepeel zijn de verschillen omgekeerd vergeleken met Valthermond, hoewel het effect zeer gering en geenszins significant is.



Figuur 3-7: Effecten van de timing en plaatsing van Ca-meststoffen (linksboven), de keuze van de Ca-meststof (rechtsboven), de K-gift (linksonder) en beregening (rechtsonder) op het aantal aardappelknollen met inwendige gebreken van de bewaarmonsters.

Onderwatergewicht van de knollen na bewaring

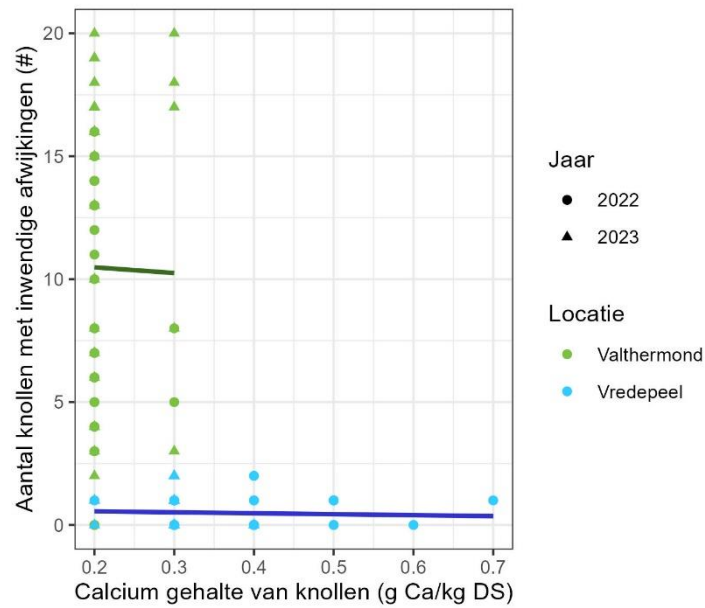
In Figuur 3-8 zijn de effecten van timing en plaatsing van Ca-meststoffen, de Ca-meststofkeuze, een lage en een hoge K-gift en wel/geen beregening op het onderwatergewicht (OWG) van de knol na bewaring weergegeven voor beide locaties. Het OWG van de knollen lag in Valthermond aanzienlijk hoger dan in Vredepeel, wat kan worden verklaard doordat in Valthermond zetmeelaardappelen (ras Seresta) zijn geteeld en op Vredepeel consumptieaardappelen (ras Hansa) die over het algemeen een lager zetmeelgehalte hebben.



Figuur 3-8: Effecten van de timing en plaatsing van Ca-meststoffen (linksboven), de keuze van de Ca-meststof (rechtsboven), de K-gift (linksonder) en beregening (rechtsonder) op het onderwatergewicht (g) van de bewaarmonsters.

De effecten van calciumbemesting op het OWG van de knol zijn minimaal en in geen geval significant. Een hogere K-gift leidde op Vredepeel 2022 tot een significant lager OWG van de knollen na bewaring dan de standaard K-gift, terwijl er op Valthermond geen effect van K op het OWG van de knol is waargenomen. Er is geen correlatie geobserveerd tussen (extra) beregening en het onderwatergewicht van de aardappelen.

Net als bij de verse knolmonsters vlak na de oogst, is er ook geen sprake van een significante correlatie tussen het Ca-gehalte van aardappelen en het aantal inwendige gebreken na bewaring. Variatie in inwendige knolkwaliteit kan het beste worden verklaard door het verschil in locatie (met alle bijbehorende attributen als ras, bodemeigenschappen, enz.) en niet door de Ca-concentratie in de aardappel.



Figuur 3-9: Effect van Ca-gehalte op het aantal knollen met inwendige afwijkingen van de bewaarmonsters. Bij lineair model (Afwijkingen ~ Ca gehalte) is het effect van Ca op inwendige afwijkingen significant ($p < 0,001$). Echter bij een beter passend model (Afwijkingen ~ Ca gehalte + Locatie) is enkel het effect van locatie significant.

3.4 Discussie

3.4.1 Effect van Ca-bemesting op opbrengst, Ca-gehalte en inwendige kwaliteit

Opvallend is dat er geen direct effect van Ca-bemesting op de Ca-gehalten in de knollen is waargenomen. Dit effect was wel te verwachten (hoewel klein) op basis van wat in literatuur is beschreven. Onderzoek van Zwart & Velvis (2001) toont aan dat Ca-bemesting het Ca-gehalte in de aardappelknollen verbetert, maar dat het effect klein is. Ook bevestigt hun onderzoek dat goed geplaatste Ca-bemesting leidt tot hogere Ca-gehalte van knollen en een hogere weerstand tegen knolziekten. De veldproeven in Vredepeel en Valthermond tonen echter geen significant effect van de plaatsing van de Ca-meststof op de Ca-gehalte in de knollen, ook als dit in combinatie met een goede vochtvoorziening (berekening) plaatsvindt. Er zijn meerdere verklaringen mogelijk voor het feit dat er geen direct effect naar voren komt in de veldproef.

Mogelijk is Ca op de meeste proefvelden geen beperkende factor voor het Ca-gehalte van de knol of de knolopbrengst geweest. De bodems bevatten in dat geval al voldoende Ca, waardoor het effect van extra Ca niet naar voren komt. Als het calciumgehalte in de grond namelijk al erg hoog is (1600-17500 kg/ha) dan is calcium geen beperkende factor (Zwart & Velvis, 2001). Op basis van bodemvruchtbaarheidsonderzoek van Eurofins uit januari 2020 wordt in Valthermond de bodemvoorraad calcium geschat op 5675 kg Ca/ha. In Vredepeel is o.b.v. monsters uit november 2021 gebleken dat de bodemvoorraad Ca daar ook in orde is met 3940 kg Ca/ha.

Verder moet worden bedacht dat in alle objecten sprake was van een Ca-aanvoer met dierlijke mest, omdat dat conform de praktijk op zandgronden is gebruikt voor de basisbemesting van de aardappelen. Uitgaande van een Ca-gehalte van 1,5 kg Ca/ton rundveedrijfmest (RDM), wordt met een gift van 25-35 m³ RDM dus al 38-53 kg Ca/ha, ofwel 52-73 kg CaO/ha toegediend. Dit was dus ook in het controle-object het geval, waardoor geen grote effecten mochten worden verwacht van een extra Ca-aanvoer.

Een andere verklaring is de mogelijkheid dat de extra Ca niet in de knollen terecht komt, doordat het in andere delen van het gewas belandt, de Ca niet goed geplaatst wordt of dat het adsorptiecomplex een rol speelt. De meeste Ca wordt teruggevonden in de bovengrondse delen van de plant (Ozgen, Kleinhenz & Palta, 2003; Kärenlampi en Wit, 2009). Gewoonlijk is er niet meer dan 3 tot 5 kg Ca/ha (Bosch & Velema, 2006) aanwezig in de aardappelknollen. In Vredepeel was er gemiddeld 5,3 en 3,9 kg Ca/ha aanwezig in de knollen in respectievelijk 2022 en 2023. In Valthermond was dat 3,1 en 3,3 kg Ca/ha in resp. 2022 en 2023. Op beide locaties vallen de waarden binnen het bereik van wat normaal wordt geacht.

Verder stellen Bussink, Specken & de Haan (2020) op basis van literatuuronderzoek dat het belangrijk is dat (goed oplosbaar) Ca dichtbij de wortel van de aardappelplant dient te worden geplaatst om überhaupt effect te hebben op de opname van calcium. Zij concluderen dat zelfs als er aan die voorwaarde wordt voldaan, het effect van Ca-bemesting op de Ca-gehalten in de knol beperkt is. Verder kan de beschikbaarheid van Ca in de bodem bepalend zijn voor het Ca-gehalte in de knollen. De beschikbaarheid van Ca is afhankelijk van de bodem op basis van onder andere de hoeveelheid organische stof, het kleigehalte, de pH en het adsorptiecomplex. Toediening van kalkhoudende meststoffen leidt tot verschuiving in de bezetting van het adsorptiecomplex waarbij Ca²⁺-ionen een hogere bezetting van het adsorptiecomplex innemen.

Het is evenwel zeer mogelijk dat het ras een van de belangrijkste factoren is die de opname van Ca bepaalt (Velema, Van de Griend, & Velvis, 2001). In Vredepeel (Hansa) liggen de Ca-concentraties van de knollen stelselmatig hoger dan in Valthermond (Seresta).

3.4.2 K-niveau

Op de locatie Vredepeel was in 2022 een significant hogere opbrengst waar te nemen bij een hoge kalibemesting van 350 kg K₂O/ha ten opzichte van een standaard K-gift van 200 kg K₂O/ha.

Verder leidde de hoge K-gift te Valthermond tot een betere knolkwaliteit, vanwege een significant lager aantal knollen met inwendige gebreken.

De positieve effecten van K waren niet verwacht, aangezien de hypothese was dat een (te) hoge K-gift de Ca-voorziening en daarmee de knolkwaliteit negatief zou kunnen beïnvloeden (Bussink & Specken, 2022). Uit de proeven lijkt het tegenovergestelde echter het geval te zijn, vanwege de neutrale of positieve effecten van extra K en de neutrale of negatieve effecten van Ca op de knolkwaliteit. De effecten van extra K en Ca worden echter niet teruggevonden in de K- en Ca-gehalten in de knollen.

3.4.3 Beregening

De effecten van beregening op inwendige kwaliteit van knollen zijn niet duidelijk op basis van de deze studie. Het effect van beregening is soms tegengesteld en in ieder geval niet significant: op beide proeflocaties verschilde het per jaar of beregening wél of juist niet zorgde voor meer inwendige gebreken. Volgens Bus en Veerman, 2007 zorgt een hogere verdamping (als gevolg van extra beregening) ervoor dat meer Ca naar het loof wordt gevoerd en minder naar de knollen. Zij observeerden dat een lagere verdamping tot minder roestvlekken leidt. De hypothese is dat in de praktijk, roestvlekken met name ontstaan als tijdelijke droogte (wat voor een groeistilstand zorgt) gevolgd wordt door een groei-explosie (na voldoende neerslag/beregening).

Zwart & Velvis (2001) laten zien dat beregening, met name onder droge omstandigheden, in tegenstelling tot de resultaten van deze proef juist kan leiden tot aanzienlijk hogere Ca-gehalte in de knol. Zonder voldoende vocht in de bodem kan Ca niet oplossen als Ca²⁺ en op worden genomen door de plant (Bussink, Specken en de Haan, 2020). Dezelfde auteurs concluderen dat een eventueel Ca-tekort bij aardappelen het gevolg kan zijn van een te lage bodem-pH en/of een gebrekkige vochtvoorziening. Van het laatste was tijdens deze proef geen sprake. De bodem-pH viel in Vredepeel in het streeftraject (5,8; streeftraject 5,6-6,1) en in Valthermond er net onder (5,0; streeftraject 5,1-5,7).

3.4.4 Proeflocatie en aardappelras

De grootste verklarende factor voor knolopbrengst, Ca-opname, inwendige kwaliteit en DS-gehalte is de locatie. In dit geval is de locatie een proxy voor ras, bodemeigenschappen, weer gedurende het groeiseizoen en nog andere variabelen zoals management. Dit stemt overeen met bevindingen van Veerman (2001) die vond dat het grootste deel van de verschillen in kwaliteitseigenschappen werd verklaard door locatie- en jaarinvloeden en interacties met andere experimentele factoren. N- en K-bemesting verklaarde slechts 10% van de verschillen in kwaliteitseigenschappen. Veerman stelde dat het aardappelras tussen de 10 en 40% van de variatie in de knolkwaliteit verklaart (Veerman, 2001). Ook andere onderzoeken toonden aan dat de effecten van extra Ca-giften in ieder geval rasafhankelijk lijken te zijn (Velema, Van de Griend, & Velvis, 2001) en waarschijnlijk is het effect van calcium op de vatbaarheid voor pathogenen ook afhankelijk van ras (Ransijn, 2022). Omdat locatie en ras gekoppeld zijn, kan geen onderscheid worden gemaakt in hoeverre ras of locatie van invloed is op de knolkwaliteit. Daarbij is vergelijking tussen op Valthermond geteelde zetmeelaardappelen en de te Vredepeel geteelde consumptieaardappelen slecht mogelijk omdat het teeltdoel verschilt.

Opmerkelijk is dat op de locatie Vredepeel met het ras Hansa, waarvan bekend is dat het gevoelig is voor Ca-gebrek, vrijwel geen effecten van de behandelingen op opbrengst, Ca-gehalte en de knolkwaliteit zijn vastgesteld. Juist op de locatie Valthermond met het zetmeelras Seresta, waar inwendige kwaliteit geen grote rol speelt, waren de effecten relatief groot. Zoals eerder aangegeven was hier waarschijnlijk sprake van aantasting door het tabaksratelvirus (pers. med. J. Specken, WUR).

4 Conclusies

Op basis van de resultaten uit de veldproeven die in 2022 en 2023 zijn uitgevoerd te Valthermond (zetmeelaardappelen, ras Seresta) en Vredepeel (consumptie-aardappelen, ras Hansa) wordt het volgende geconcludeerd:

- De kwaliteit van de verse oogstmonsters, bewaarmonsters en bijbehorende knolopbrengsten tonen een duidelijk verschil tussen de locaties Valthermond en Vredepeel ($p < 0,001$). Op locatie Valthermond was het aantal knollen met afwijkingen groter dan in Vredepeel, waarbij het tabaksratelvirus in Valthermond waarschijnlijk een rol speelde. De knolopbrengst was in Vredepeel hoger dan in Valthermond. Locatiespecifieke invloeden, zoals het teeltdoel (consumptie vs zetmeel) en het aardappelras zijn daarbij de bepalende factoren.
- De effecten van Ca-bemesting op het Ca-gehalte, de knolkwaliteit en de knolopbrengst waren op de twee proeflocaties beperkt en slechts in enkele gevallen statistisch significant:
 - Op de locatie Vredepeel 2023 leidde het gebruik van CaCl_2 tot een significant ($p < 0,05$) hoger aantal knollen met inwendige gebreken dan de behandelingen zonder calcium.
 - De kwaliteitsbepaling van de eindoofst en bewaarmonsters laten zien dat het Ca-gehalte in de knollen *op zich* niet bepalend is voor de knolkwaliteit. Inwendige kwaliteit van de knollen wordt beter worden verklaard door locatie en bijbehorende variabelen dan door het Ca-gehalte van de knol.
- Het effect van de K-gift op de knolkwaliteit en knolopbrengst was in een enkel geval significant:
 - De hoge K-gift van 350 kg K_2O /ha leidde in Valthermond in 2022 tot een significant lager aantal knollen met gebreken na bewaring dan de standaard K-gift van 200 kg K_2O /ha.
 - In Vredepeel leidde de hoge K-gift van 350 kg K_2O /ha tot een significant hogere opbrengst dan de standaard K-gift van 200 kg K_2O /ha.
- Het effect van wel/niet extra beregenen op de knolkwaliteit was gering en in een enkel geval significant:
 - Beregening heeft geen significant effect op de inwendige kwaliteit van de knolmonsters van de eindoofst. Bevindingen uit andere onderzoeken in literatuur wat betreft beregening en knolkwaliteit lopen uiteen. Sommige studies wijzen erop dat verhoogde verdamping (als gevolg van meer beregening) leidt tot lagere Ca-gehalten in knollen. Andere studies wijzen erop dat beregening juist bijdraagt aan hogere Ca-gehalten in de aardappelen. Daarbij lijken de omstandigheden waaronder beregening plaatsvindt, zoals (tijdelijke) droogte en verdamping, een belangrijk factor.
- Uit gewaswaarnemingen in het seizoen 2022 bleek bij gebruik van CaCl_2 op beide locaties (Valthermond en Vredepeel) sprake te zijn van zoutschade in het gewas. Hoewel de CaCl_2 niet tot significant lagere opbrengsten of een hoger aantal gebreken in de knollen heeft geleid, lijkt er bij het gebruik van CaCl_2 sprake te zijn van een verhoogd risico van zoutschade en kan beter voor een andere Ca-meststof, zoals gips (CaSO_4) of kalksalpeter ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) worden gekozen.

Literatuur

- Bosch, R. A., & Velema, R. A. J. (2006). Calcium in potato growing. *Potato developments in a changing Europe*, 132.
- Bus, C. B., & Veerman, A. (2007). *Roestvlekken in aardappelknollen: theorie en verslag van een proef in potten in 2006* (No. 3251049900). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Businessunit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente.
- Bussink DW, Specken J & de Haan J (2020). Effecten bemesting K, Mg, Ca, N, Cl en hun interacties op de gewasopbrengst en -kwaliteit, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1763.N.19, pp 43
- De Pasture L (2016). Calcium misunderstood in potatoes. *Crop production magazine* pp89-91. <http://www.cpm-magazine.co.uk/2016/06/20/potato-nutrition-calcium-misunderstood-in-potatoes/>
- Dowle M, Srinivasan A, Gorecki J, Chirico M, Stetsenko P, Short T, Lianoglou S, Antonyan E, Bonsch M, et al. (2021). data.table: Extension of 'data.frame' (versie 1.14.2). R package1.14.2.
- Kärenlampi SO& White PJ (2009) Chapter 5 - Potato Proteins, Lipids, and Minerals. In: *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Academic Press, San Diego, pp 99-125
- Ozgen S, Kleinhenz MD, Palta JP (2003) Influence of supplemental calcium fertilization on potato tuber size and number. In: Yada RY (ed) *Proc. XXVI IHC—Potatoes—healthy food for humanity*. Acta Hort 619:329–335
- Palta JI (2010) Improving Potato Tuber Quality and Production by Targeted Calcium Nutrition: The Discovery of Tuber Roots Leading to a New Concept in Potato Nutrition. *Potato Research* 53(4):267-275.
- Ransijn, J. (2022). Onderzoeksrapport Ketenproject Verbetering Pootgoedkwaliteit (2016-2022). NAK-onderzoeksrapport.
- Tzeng, K. C., McGuire, R. G., & Kelman, A. (1990). Resistance of tubers from different potato cultivars to soft rot caused by *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*. *American Potato Journal*, 67, 287-305.
- Veerman, A. (2001). *Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelrassen*. Wageningen University and Research.
- Velema, R., Van de Griend, P., & Velvis, H. (2001). Het effect van het calciumgehalte van pootgoed op de ziektegevoeligheid. Tech. rep., Plant Research International.
- Wickham H, Bryan J, attribution) Rs (Copyright holder of all R code and all C code without explicit copyright, code) MK (Author of included R, code) KV (Author of included libxls, code) CL (Author of included libxls, code) BC (Author of included libxls, code) DH (Author of included libxls, & code) EM (Author of included libxls (2022a). readxl: Read Excel Files (versie 1.4.0). R package1.4.0.

- Wickham H, Chang W, Henry L, Pedersen TL, Takahashi K, Wilke C, Woo K, Yutani H, Dunnington D, et al. (2022b). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics* (versie 3.3.6). R package 3.3.6.
- Zimnoch-Guzowska, E., & Lojkowska, E. (1993). Resistance to *Erwinia* spp. in diploid potato with a high starch content. *Potato Research*, 36(3), 177-182.
- Zwart K & Velvis H (2001). Verhoging van calciumgehalte in zetmeelaardappelen. *Perspectief*. Plant Research International, Wageningen, Nota 87, pp 33.

Bijlagen

Bijlage 1: Bodemeigenschappen beide proeflocaties

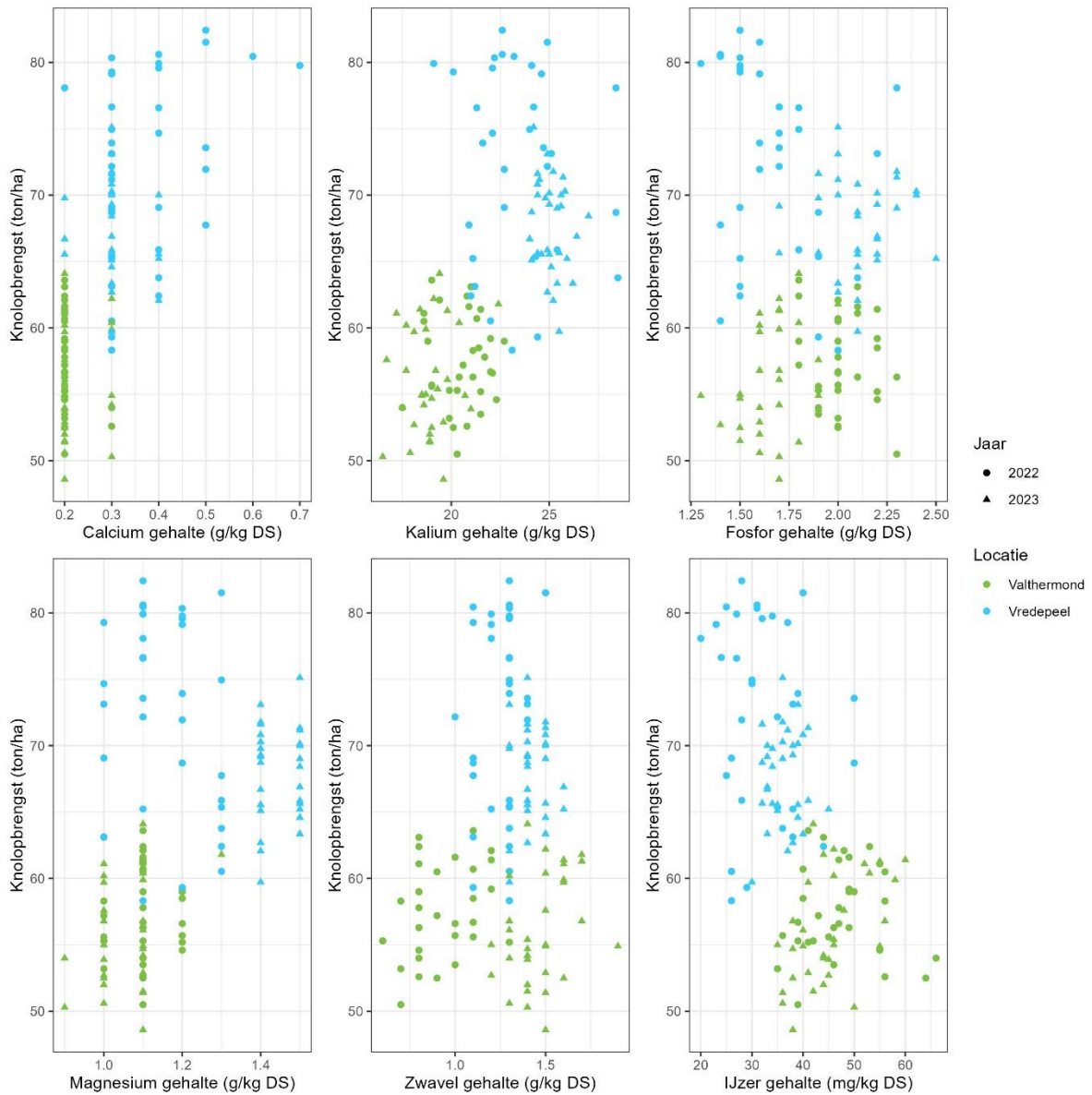
Tabel 0-1: Resultaten grondonderzoek (Eurofins) voor de proefvelden gebruikte te Vredepeel in de jaren 2022 en 2023

Parameter	Eenheid	Proefveld 2022	Proefveld 2023	Streeftraject
N-totaal	kg N/ha	3970	4480	3640 - 5310
C/N-ratio		20	17	13 - 17
N-leverend	kg N/ha	35	55	95 - 145
S-CaCl ₂	kg S/ha	9	7	20 - 30
S-totaal	kg S/ha	720	750	655 - 920
C/S-ratio		108	103	50 - 75
S-leverend	kg S/ha	5	6	20 - 30
P-CaCl ₂	kg P/ha	6,9	12,4	5,9 - 9,8
P-AL	kg P/ha	760	915	430 - 660
K-CaCl ₂	kg K/ha	120	90	230 - 360
K-voorraad	kg K/ha	220	245	265 - 405
Ca-beschikbaar	kg Ca/ha	80	25	235 - 550
Ca-voorraad	kg Ca/ha	3940	2490	2885 - 4330
Mg-beschikbaar	kg Mg/ha	330	350	165 - 280
Mg-voorraad	kg Mg/ha	285	370	155 - 435
Zuurgraad (pH-		5,8	5,3	5,6 - 6,1
C-organisch	%	2,4	2,4	
Organische stof	%	4,3	4,4	
Koolzure kalk	%	0,3	< 0,2	2,0 - 3,0
CEC	mmol(+)/kg	71	51	> 53
CEC-bezetting	%	98	97	> 95
Ca-bezetting	%	85	75	75 - 85
Mg-bezetting	%	10	18	6,0 - 10
K-bezetting	%	2,4	3,7	2,0 - 5,0
Na-bezetting	%	0,7	< 0,1	1,0 - 1,5
H-bezetting	%	< 0,1	0,2	< 0,1
Al-bezetting	%	< 0,1	< 0,1	< 0,1

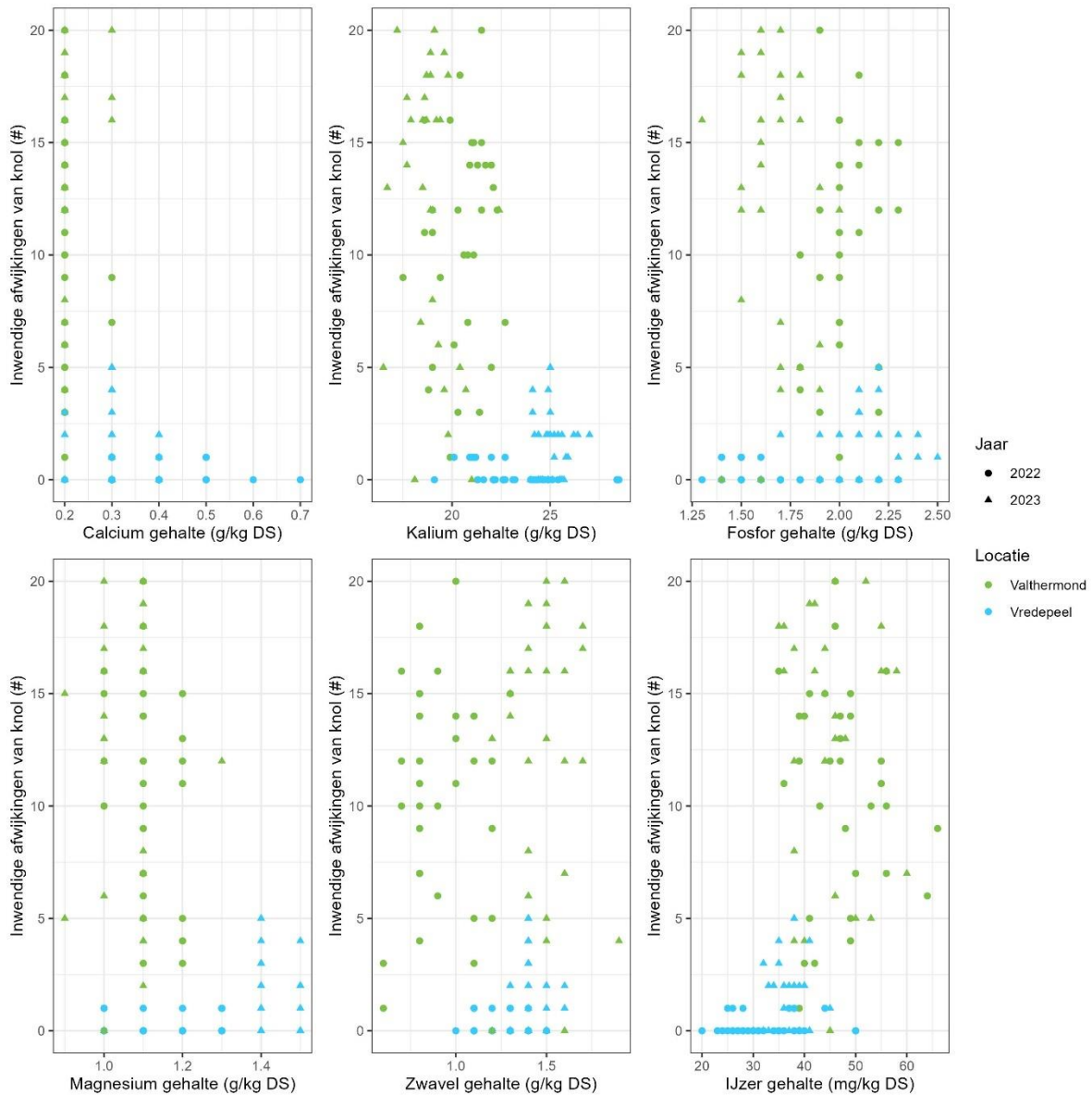
Tabel 0-2: Resultaten grondondezoek (Eurofins) voor de proefvelden gebruikte te Valthermond in de jaren 2022 en 2023

Parameter	Eenheid	Proefveld 2022	Proefveld 2023	Streeftraject
N-totaal	kg N/ha	8020	7920	5560 - 8470
C/N-ratio		24	21	13 - 17
N-leverend	kg N/ha	40	65	95 - 145
S-CaCl ₂	kg S/ha	9	10	20 - 30
S-totaal	kg S/ha	1640	1560	995 - 1655
C/S-ratio		115	108	50 - 75
S-leverend	kg S/ha	10	12	20 - 30
P-CaCl ₂	kg P/ha	11,1	9,5	4,8 - 7,9
P-AL	kg P/ha	335	320	290 - 450
K-CaCl ₂	kg K/ha	280	515	185 - 290
K-voorraad	kg K/ha	395	350	335 - 465
Ca-beschikbaar	kg Ca/ha	105	175	190 - 445
Ca-voorraad	kg Ca/ha	5675	6225	5480 - 8215
Mg-beschikbaar	kg Mg/ha	265	370	130 - 225
Mg-voorraad	kg Mg/ha	495	470	235 - 485
Zuurgraad	(pH-	5,0	5,2	5,1 - 5,7
C-organisch	%	7,1	6,2	
Organische stof	%	11,5	10,6	
Koolzure kalk	%	< 0,2	0,3	2,0 - 3,0
CEC	mmol(+)/kg	147	154	> 138
CEC-bezetting	%	87	86	> 95
Ca-bezetting	%	73	74	75-85
Mg-bezetting	%	10	9,2	6,0 - 10
K-bezetting	%	2,6	2,1	2,0 - 5,0
Na-bezetting	%	0,9	1,0	1,0 - 1,5
H-bezetting	%	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Al-bezetting	%	< 0,1	< 0,1	< 0,1

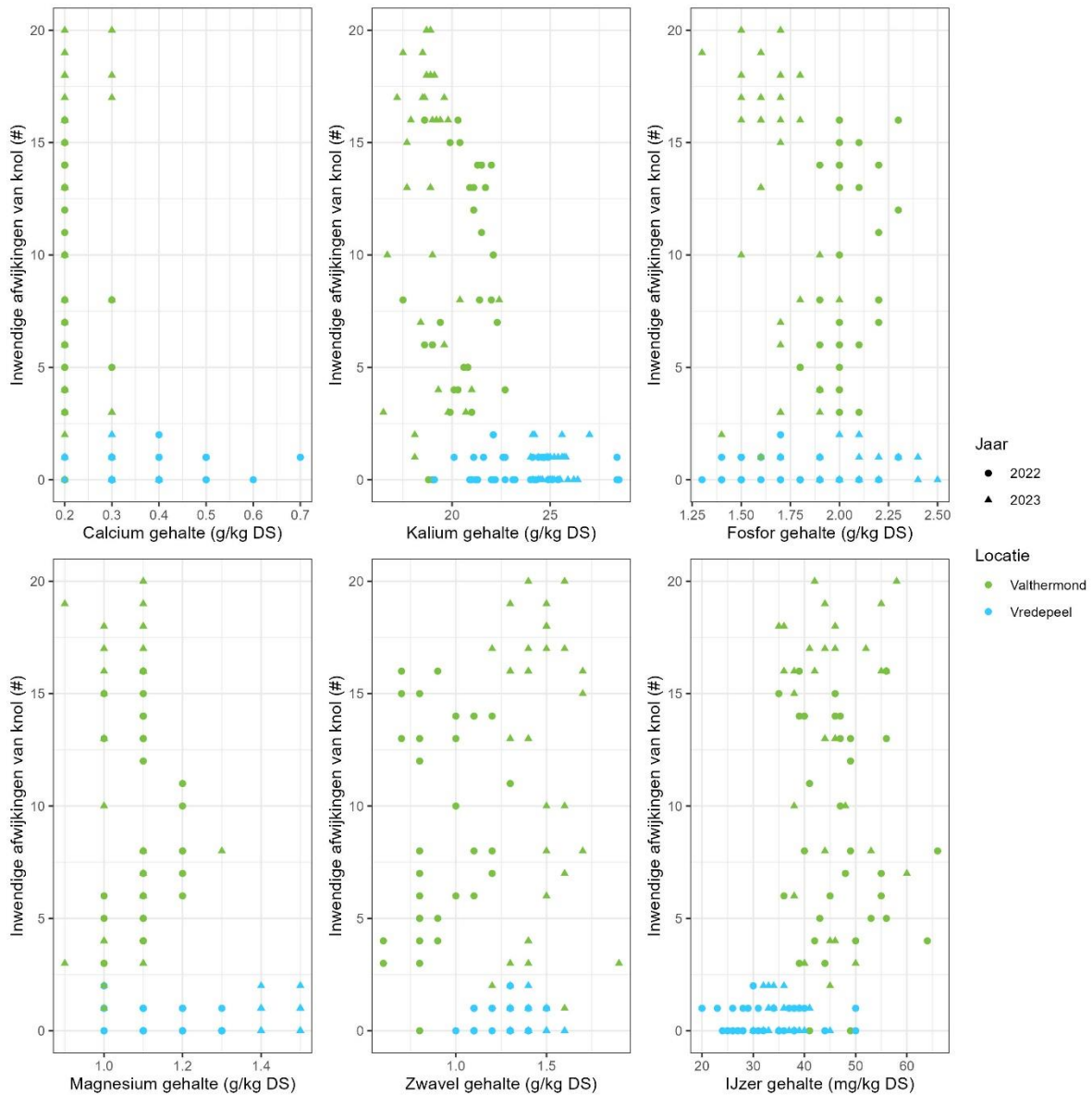
Bijlage 2: Knolopbrengst en inwendige gebreken in relatie tot mineralenconcentraties



Figuur 0-1: Van linksboven met de klok mee: Knolopbrengst in relatie tot gehalten calcium, kalium, fosfor, ijzer, zwavel en magnesium in (vers geogste) knolmonsters.



Figuur 0-2: Van linksboven met de klok mee: Inwendige gebreken (per 20 knolmonsters) van vers geogste knollen in relatie tot gehalten calcium, kalium, fosfor, ijzer, zwavel en magnesium van knolmonsters.

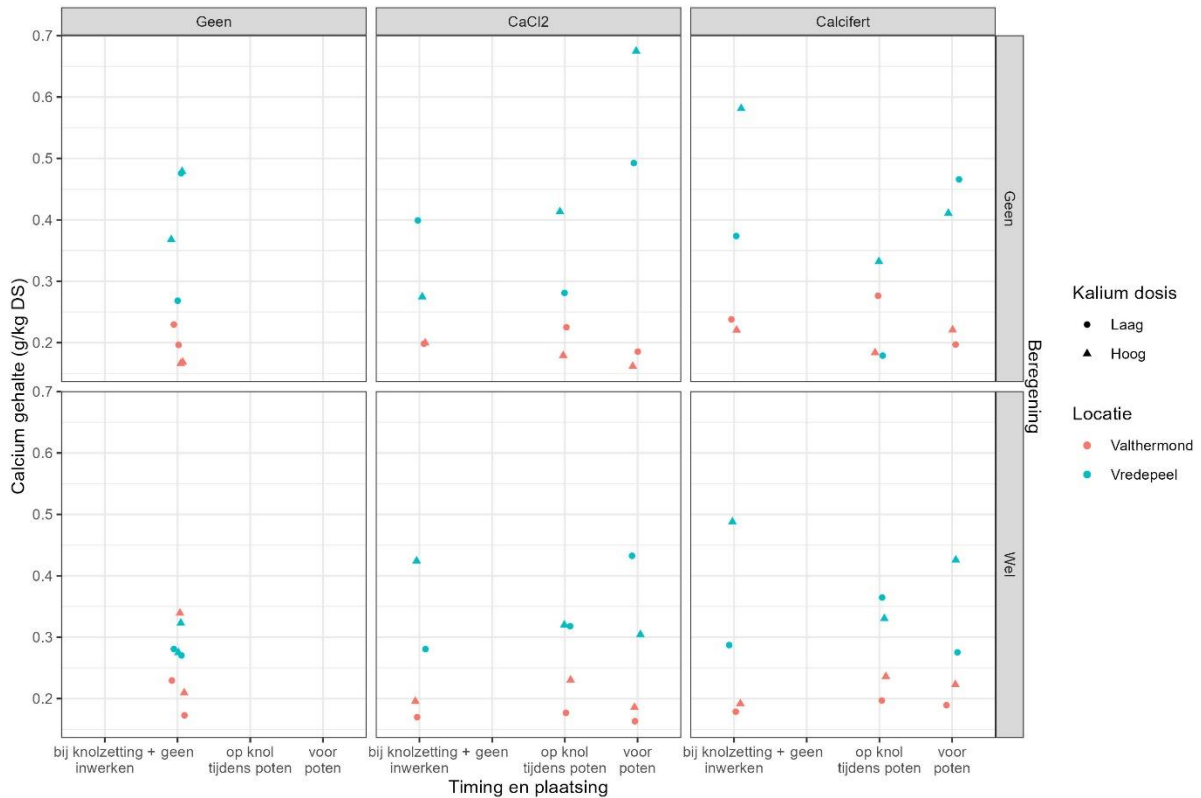


Figuur 0-3: Van linksboven met de klok mee: Inwendige gebreken (per 20 knolmonsters) van bewaarmonsters in relatie tot gehalten calcium, kalium, fosfor, ijzer, zwavel en magnesium van knolmonsters.

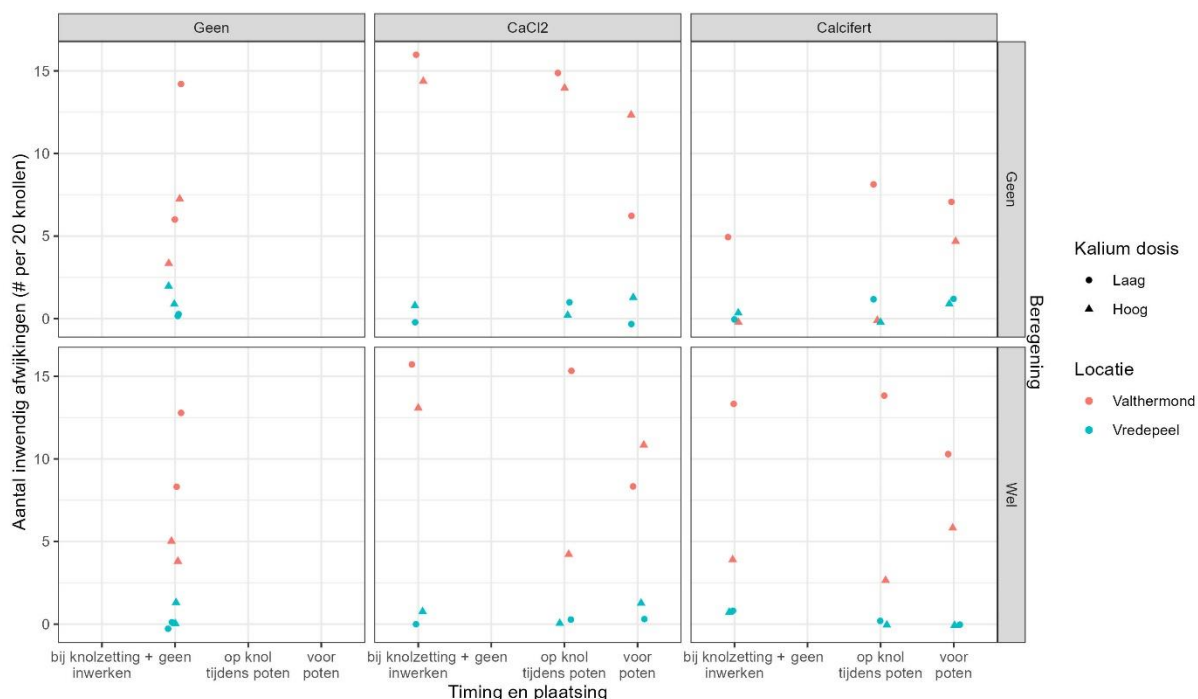
Bijlage 3: Compleet overzicht datapunten

Per teeltseizoen zijn hieronder grafieken opgenomen die de relaties tussen alle behandelingen in een oogopslag weergeven. De weergegeven variabelen zijn Ca-gehalte van de knollen op moment van oogsten, inwendige kwaliteit van vers geoogste knollen, de verse knolopbrengst en het onderwatergewicht van de bewaarmonsters.

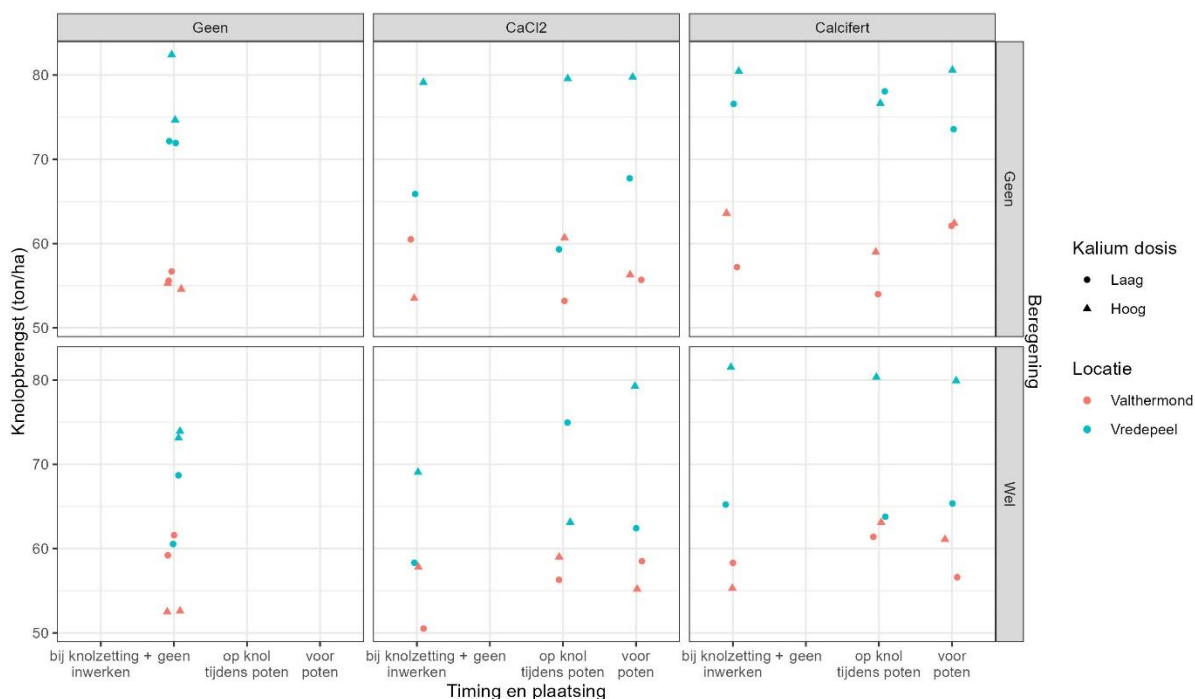
Data teeltseizoen 2022



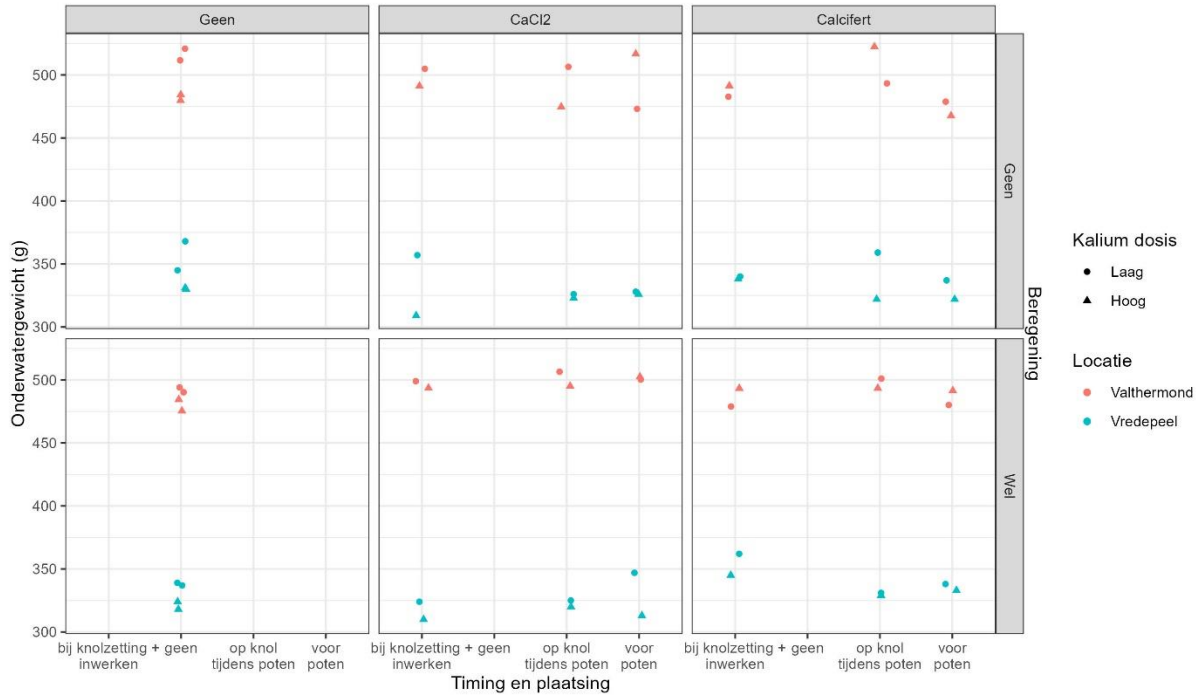
Figuur 0-4: Het Ca-gehalte van de oogstmonsters in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2022.



Figuur 0-5: Het aantal inwendige gebreken van de oogstmonsters in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2022.

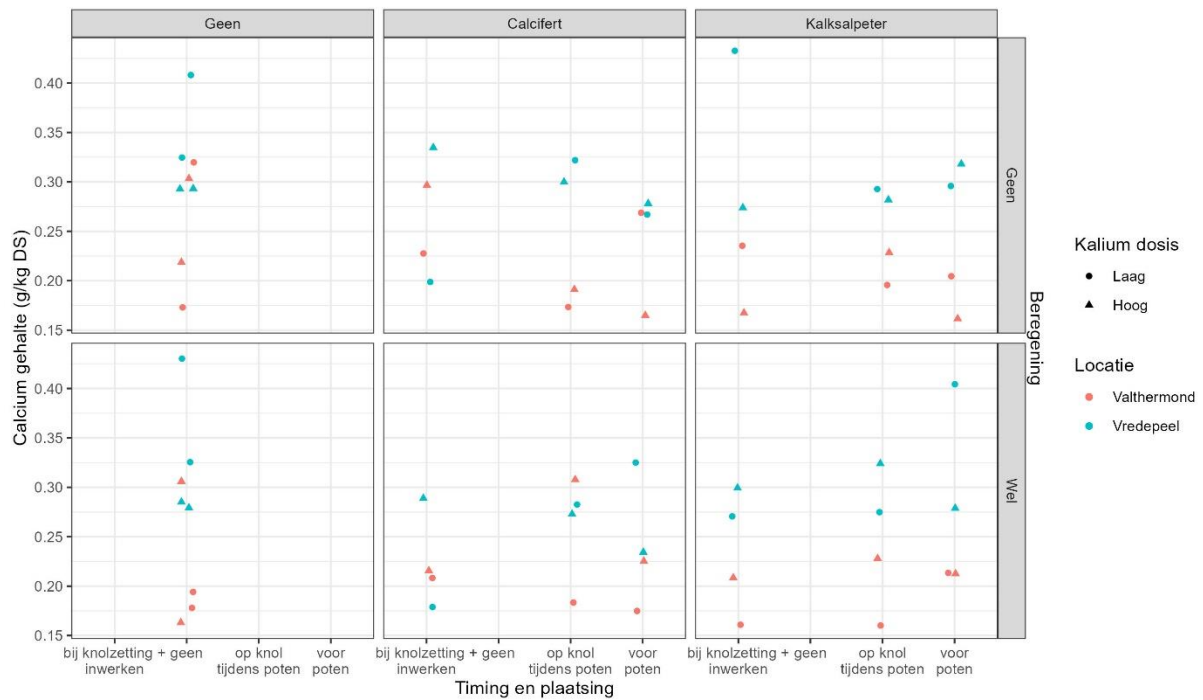


Figuur 0-6: De knolopbrengst van de eindoogst in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2022.

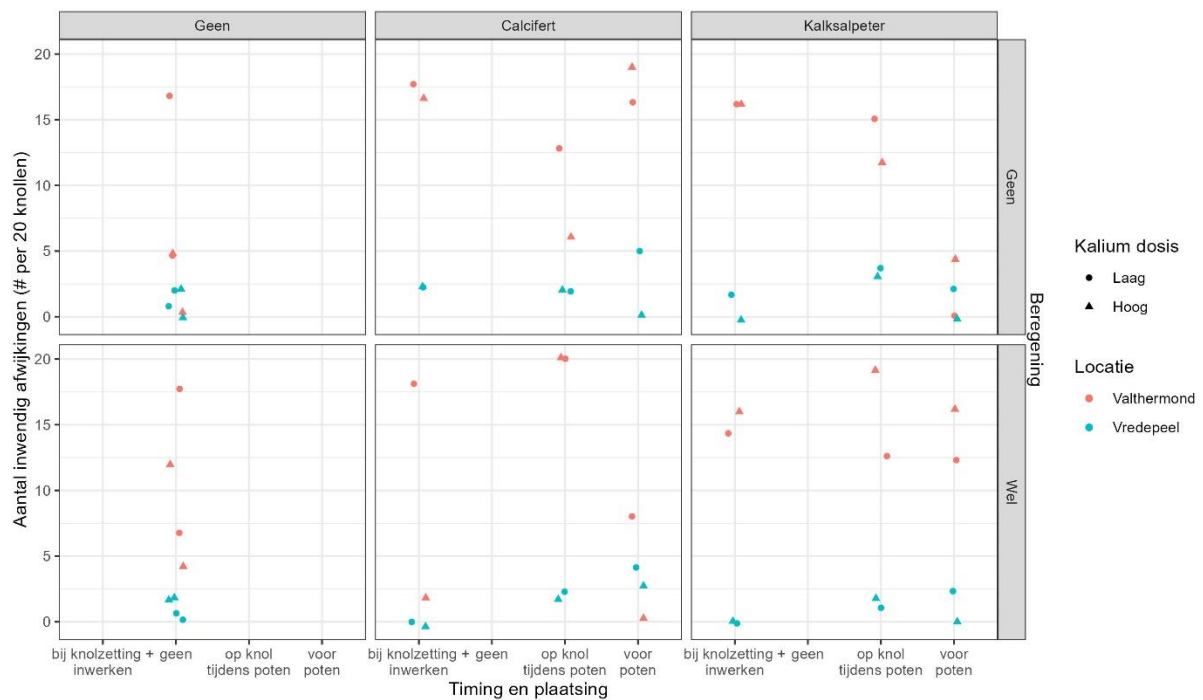


Figuur 0-7: Het onderwatergewicht van bewaarmonsters in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2022.

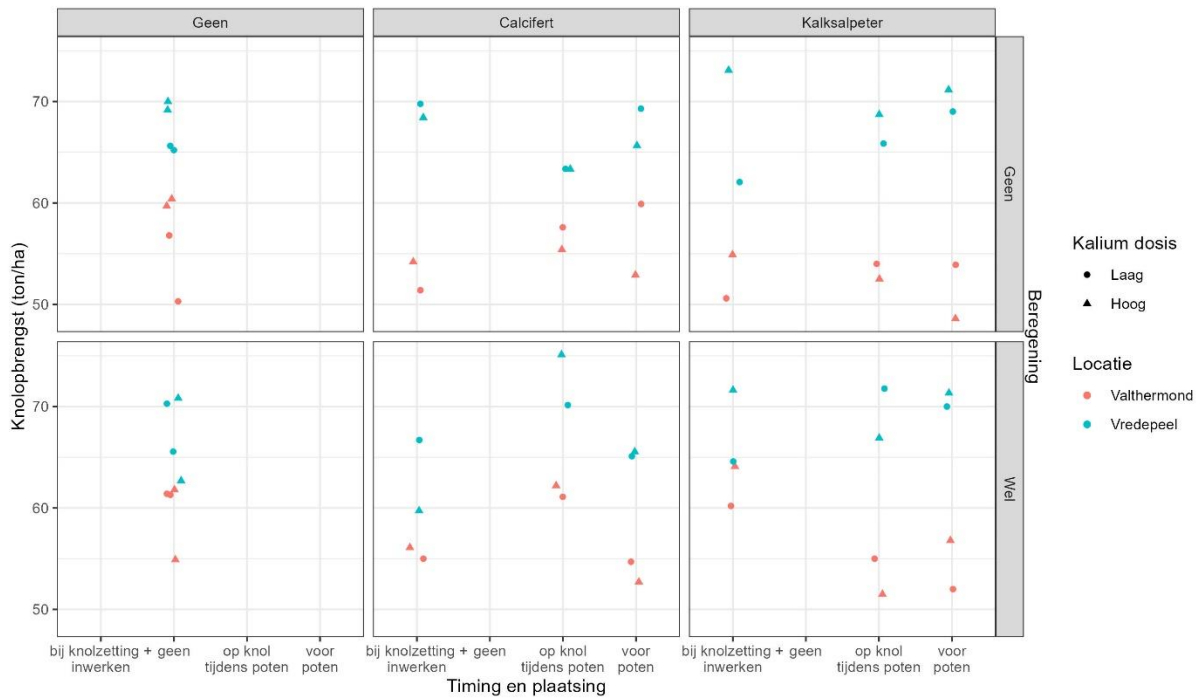
Data teeltseizoen 2023



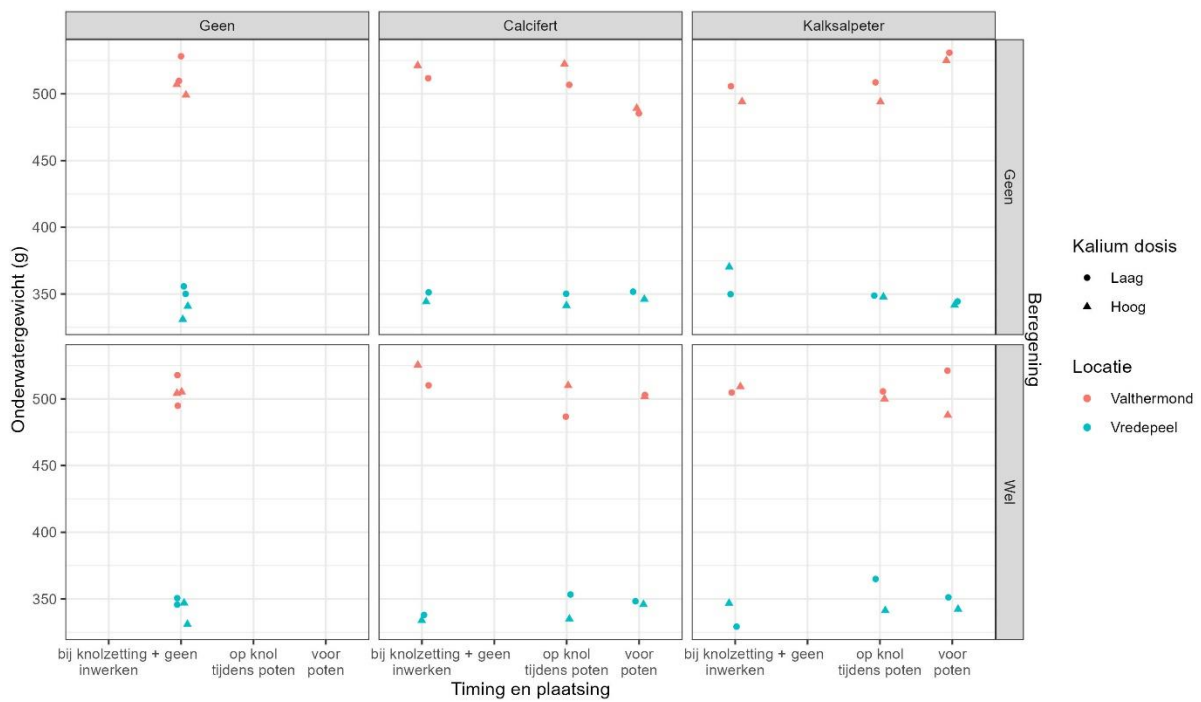
Figuur 0-8: Het Ca-gehalte van de oogstmonsters in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2023.



Figuur 0-9: Het aantal inwendige gebreken van de oogstmonsters in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2023.



Figuur 0-10: De knolopbrengst van de eindooft in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2023.



Figuur 0-11: Het onderwatergewicht van bewaarmonsters in relatie tot type calciummeststof, timing en plaatsing van de Ca-meststof, kalium dosis en beregening in teeltjaar 2023.

Bijlage 4: Resultaten variantie-analyse

Om het gecombineerde effect van timing en plaatsing van Ca-meststoffen, de meststofkeuze, een lage en een hoge K-gift en wel/geen beregening op het Ca-gehalte van de knol te kunnen bepalen is een factoriële ANOVA uitgevoerd. De resultaten daarvan worden gepresenteerd in een reeks tabellen.

De statistische modellen zijn uitgevoerd met beide proefjaren afzonderlijk van mekaar. De reden hiervoor is dat de gewijzigde K- en Ca-bemesting in 2023 het formeel niet toestaat om deze jaren met elkaar te vergelijken.

Resultaten teeltseizoen 2022

Factorinteracties bij oogst

Uit de resultaten van de ANOVA in Tabel 0-3 valt op te maken dat de hoofdeffecten van de factoren en interacties van factoren geen significante invloed hebben op het calciumgehalte in de knol bij oogst.

Tabel 0-3: ANOVA van (Ca ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij Ca het Ca-gehalte van de knol is **tijdens de oogst**, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ca_vorm	1	0.0025	0.00250	0.061	0.807
beregening	1	0.0306	0.03063	0.742	0.395
K_niveau	1	0.0006	0.00062	0.015	0.903
Ca_tijdstip	3	0.0275	0.00917	0.222	0.880
Ca_vorm:beregening	1	0.0006	0.00062	0.015	0.903
Ca_vorm:K_niveau	1	0.0006	0.00063	0.015	0.903
beregening:K_niveau	1	0.0000	0.00000	0.000	1.000
Ca_vorm:Ca_tijdstip	3	0.0150	0.00500	0.121	0.947
beregening:Ca_tijdstip	3	0.0119	0.00396	0.096	0.962
K_niveau:Ca_tijdstip	3	0.0019	0.00062	0.015	0.997
Ca_vorm:beregening:K_niveau	1	0.0100	0.01000	0.242	0.626
Ca_vorm:beregening:Ca_tijdstip	3	0.0119	0.00396	0.096	0.962
Ca_vorm:K_niveau:Ca_tijdstip	3	0.0269	0.00896	0.217	0.884
beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	0.0075	0.00250	0.061	0.980
Ca_vorm:beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	0.0125	0.00417	0.101	0.959
Residuals	32	1.3200	0.04125		

De resultaten van de factoriële ANOVA van de (gecombineerde) effecten op de inwendige knolkwaliteit waargenomen tijdens de oogst zijn weergegeven in Tabel 0-4. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Geen van de effecten of interacties van effecten is van significante invloed op de inwendige knolkwaliteit gemeten tijdens de oogst.

Tabel 0-4: ANOVA van (inw_kwal ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij inw_kwal het aantal knollen met inwendige gebreken is **tijdens de oogst**, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ca_vorm	1	37.5	37.52	0.561	0.459
beregening	1	2.6	2.64	0.040	0.844
K_niveau	1	8.3	8.27	0.124	0.727
Ca_tijdstip	3	22.7	7.56	0.113	0.952
Ca_vorm:beregening	1	54.4	54.39	0.814	0.374
Ca_vorm:K_niveau	1	34.5	34.52	0.516	0.478
beregening:K_niveau	1	0.4	0.39	0.006	0.940
Ca_vorm:Ca_tijdstip	3	50.8	16.93	0.253	0.858
beregening:Ca_tijdstip	3	19.2	6.39	0.096	0.962
K_niveau:Ca_tijdstip	3	39.8	13.27	0.199	0.897
Ca_vorm:beregening:K_niveau	1	1.3	1.27	0.019	0.891
Ca_vorm:beregening:Ca_tijdstip	3	4.7	1.56	0.023	0.995
Ca_vorm:K_niveau:Ca_tijdstip	3	39.8	13.27	0.199	0.897
beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	5.9	1.97	0.030	0.993
Ca_vorm:beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	25.3	8.43	0.126	0.944
Residuals	32	2138.5	66.83		

De resultaten van de factoriële ANOVA analyse is ook uitgevoerd voor de verse knolopbrengst van de eindoogst. De resultaten van die ANOVA zijn weergegeven in Tabel 0-5. Ook voor de verse knolopbrengst geldt dat er geen significante effecten en interacties tussen effecten naar voren zijn gekomen aan de hand van de factoriële ANOVA analyse.

Tabel 0-5: ANOVA van (verse knolopbrengst ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij verse knolopbrengst de verse knolopbrengst van de eindoogst is, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
ca_vorm	1	416	416	0.044	0.836	
beregening	1	31	31	0.003	0.955	
k50_kgha	1	1414	1414	0.148	0.703	
timing_plaatsing	3	178	59	0.006	0.999	
ca_vorm:beregening	1	163	163	0.017	0.897	
ca_vorm:k50_kgha	1	422	422	0.044	0.835	
beregening:k50_kgha	1	127	127	0.013	0.909	
ca_vorm:timing_plaatsing	3	784	261	0.027	0.994	
beregening:timing_plaatsing	3	1775	592	0.062	0.980	
k50_kgha:timing_plaatsing	3	361	120	0.013	0.998	
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	120	120	0.013	0.912	
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	142	47	0.005	1.000	
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	59	20	0.002	1.000	
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	756	252	0.026	0.994	
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	524	175	0.018	0.997	
Residuals	32	305995	9562			

Een factoriële ANOVA analyse is ook uitgevoerd voor het OWG van de knollen bij oogst. De resultaten van die ANOVA zijn weergegeven in Tabel 0-6. Ook voor het OWG geldt dat er geen significante effecten en interacties tussen effecten naar voren zijn gekomen aan de hand van de factoriële ANOVA analyse.

Tabel 0-6: ANOVA van (OWG ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij OWG het onderwatergewicht van de knol is **tijdens de oogst**, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
Ca_vorm	1	44	44	0.005	0.947	
beregening	1	154	154	0.016	0.900	
K_niveau	1	1654	1654	0.172	0.681	
Ca_tijdstip	3	383	128	0.013	0.998	
Ca_vorm:beregening	1	316	316	0.033	0.857	
Ca_vorm:K_niveau	1	151	151	0.016	0.901	
beregening:K_niveau	1	100	100	0.010	0.919	
Ca_vorm:Ca_tijdstip	3	360	120	0.012	0.998	
beregening:Ca_tijdstip	3	1572	524	0.055	0.983	
K_niveau:Ca_tijdstip	3	420	140	0.015	0.998	
Ca_vorm:beregening:K_niveau	1	22	22	0.002	0.962	
Ca_vorm:beregening:Ca_tijdstip	3	232	77	0.008	0.999	
Ca_vorm:K_niveau:Ca_tijdstip	3	12	4	0.000	1.000	
beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	275	92	0.010	0.999	
Ca_vorm:beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	399	133	0.014	0.998	
Residuals	32	307162	9599			

Factorinteracties na bewaring

Het (gecombineerde) effect van de verschillende factoren op de inwendige kwaliteit van de knollen na bewaring is weergegeven in

Tabel 0-7. Ook voor de inwendige kwaliteit van de knollen na bewaring geldt dat er geen significante effecten en interacties tussen effecten van timing en plaatsing van Ca-meststoffen, de meststofkeuze, een extra K-gift en extra beregening naar voren zijn gekomen aan de hand van de factoriële ANOVA analyse.

Tabel 0-7: ANOVA van ($inw_kwal \sim Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control$) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij inw_kwal het aantal knollen met inwendige gebreken is **na bewaring**, Ca_vorm de meststofkeuze is, $beregening$ aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en $control$ de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ca_vorm	1	54.4	54.39	1.203	0.281
beregening	1	4.5	4.52	0.100	0.754
K_niveau	1	87.9	87.89	1.944	0.173
Ca_tijdstip	3	11.8	3.93	0.087	0.967
Ca_vorm:beregening	1	26.3	26.27	0.581	0.451
Ca_vorm:K_niveau	1	40.6	40.64	0.899	0.350
beregening:K_niveau	1	11.4	11.39	0.252	0.619
Ca_vorm:Ca_tijdstip	3	79.8	26.60	0.588	0.627
beregening:Ca_tijdstip	3	7.7	2.56	0.057	0.982
K_niveau:Ca_tijdstip	3	36.8	12.27	0.271	0.846
Ca_vorm:beregening:K_niveau	1	0.4	0.39	0.009	0.927
Ca_vorm:beregening:Ca_tijdstip	3	12.4	4.14	0.092	0.964
Ca_vorm:K_niveau:Ca_tijdstip	3	4.5	1.52	0.034	0.992
beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	3.8	1.27	0.028	0.994
Ca_vorm:beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	2.8	0.93	0.021	0.996
Residuals	32	1446.5	45.20		

De resultaten van de factoriële ANOVA uitgevoerd om de effecten en interacties van effecten van Ca-bemesting op het OWG van de knollen na bewaring zijn weergegeven in Tabel 0-8. Uit de resultaten van de ANOVA valt op te maken dat de hoofdeffecten van de factoren en interacties van factoren geen significante invloed hebben op het OWG in de knol na bewaring.

Tabel 0-8: ANOVA van ($OWG \sim Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control$) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij OWG het onderwatergewicht van de knol is **na bewaring**, Ca_vorm de meststofkeuze is, $beregening$ aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en $control$ de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ca_vorm	1	652	652	0.050	0.825
beregening	1	612	612	0.047	0.830
K_niveau	1	658	658	0.050	0.824
Ca_tijdstip	3	170	57	0.004	1.000
Ca_vorm:beregening	1	244	244	0.019	0.892
Ca_vorm:K_niveau	1	40	40	0.003	0.956
beregening:K_niveau	1	107	107	0.008	0.928
Ca_vorm:Ca_tijdstip	3	529	176	0.014	0.998
beregening:Ca_tijdstip	3	271	90	0.007	0.999
K_niveau:Ca_tijdstip	3	364	121	0.009	0.999
Ca_vorm:beregening:K_niveau	1	7	7	0.001	0.981
Ca_vorm:beregening:Ca_tijdstip	3	494	165	0.013	0.998
Ca_vorm:K_niveau:Ca_tijdstip	3	275	92	0.007	0.999
beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	248	83	0.006	0.999
Ca_vorm:beregening:K_niveau:Ca_tijdstip	3	162	54	0.004	1.000
Residuals	32	417873	13059		

Resultaten teeltseizoen 2023

De bovenstaande statistische toetsen zijn op gelijke wijze gerepliceerd voor het teeltjaar 2023.

Factorinteracties bij oogst

Uit de resultaten van de ANOVA in Tabel 0-9 valt op te maken dat de hoofdeffecten van de factoren en interacties van factoren geen significante invloed hebben op het calciumgehalte in de knol bij oogst.

Tabel 0-9: ANOVA van ($Ca \sim Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control$) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij Ca het Ca -gehalte van de knol is tijdens de oogst, Ca_vorm de meststofkeuze is, $beregening$ aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K -gift aangeeft en $control$ de controlfactor is

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
ca_vorm	1	0.00016	0.000156	0.028	0.869
beregening	1	0.00141	0.001406	0.249	0.621
k50_kgha	1	0.00187	0.001870	0.332	0.569
timing_plaatsing	3	0.00922	0.003073	0.545	0.655
ca_vorm:beregening	1	0.00016	0.000156	0.028	0.869
ca_vorm:k50_kgha	1	0.00165	0.001650	0.293	0.592
beregening:k50_kgha	1	0.00062	0.000620	0.110	0.742
ca_vorm:timing_plaatsing	3	0.00922	0.003073	0.545	0.655
beregening:timing_plaatsing	3	0.00297	0.000990	0.175	0.912
k50_kgha:timing_plaatsing	3	0.00689	0.002296	0.407	0.749
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	0.00014	0.000139	0.025	0.876
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	0.00672	0.002240	0.397	0.756
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	0.00593	0.001975	0.350	0.789
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	0.00163	0.000542	0.096	0.962
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	0.00334	0.001114	0.198	0.897
Residuals	32	0.18044	0.005639		

De resultaten van de factoriële ANOVA van de (gecombineerde) effecten op de inwendige knolkwaliteit waargenomen tijdens de oogst zijn weergegeven in Tabel 0-10. **Verwijzingsbron niet gevonden**.. Geen van de effecten of interacties van effecten is van significante invloed op de inwendige knolkwaliteit gemeten tijdens de oogst.

Tabel 0-10: ANOVA van ($inw_kwal \sim Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control$) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij inw_kwal het aantal knollen met inwendige gebreken is tijdens de oogst, Ca_vorm de meststofkeuze is, $beregening$ aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K -gift aangeeft en $control$ de controlfactor is

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
ca_vorm	1	2.3	2.25	0.033	0.857
beregening	1	2.2	2.25	0.033	0.857
k50_kgha	1	136.6	136.62	1.997	0.167
timing_plaatsing	3	137.1	45.71	0.668	0.578
ca_vorm:beregening	1	56.3	56.25	0.822	0.371
ca_vorm:k50_kgha	1	8.3	8.31	0.121	0.730
beregening:k50_kgha	1	0.3	0.33	0.005	0.945
ca_vorm:timing_plaatsing	3	58.1	19.37	0.283	0.837
beregening:timing_plaatsing	3	73.4	24.46	0.358	0.784
k50_kgha:timing_plaatsing	3	34.2	11.41	0.167	0.918
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	37.6	37.61	0.550	0.464
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	148.9	49.62	0.725	0.544
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	105.3	35.09	0.513	0.676
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	47.6	15.87	0.232	0.873
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	12.5	4.17	0.061	0.980
Residuals	32	2189.0	68.41		

De resultaten van de factoriële ANOVA analyse is ook uitgevoerd voor de verse knolopbrengst van de eindoogst. De resultaten van die ANOVA zijn weergegeven in Tabel 0-11. Voor de verse knolopbrengst in 2023 geldt dat er geen significante effecten en interacties tussen effecten naar voren zijn gekomen aan de hand van de factoriële ANOVA analyse.

Tabel 0-11: ANOVA van (verse knolopbrengst ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij verse knolopbrengst de verse knolopbrengst van de eindoogst is, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
ca_vorm	1	14.7	14.74	0.190	0.666	
beregening	1	48.7	48.66	0.627	0.434	
k50_kgha	1	48.1	48.14	0.620	0.437	
timing_plaatsing	3	28.8	9.59	0.124	0.945	
ca_vorm:beregening	1	16.0	15.97	0.206	0.653	
ca_vorm:k50_kgha	1	19.0	19.01	0.245	0.624	
beregening:k50_kgha	1	7.9	7.90	0.102	0.752	
ca_vorm:timing_plaatsing	3	85.1	28.36	0.365	0.778	
beregening:timing_plaatsing	3	39.3	13.10	0.169	0.917	
k50_kgha:timing_plaatsing	3	37.5	12.50	0.161	0.922	
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	1.8	1.76	0.023	0.881	
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	94.8	31.58	0.407	0.749	
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	31.9	10.62	0.137	0.937	
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	92.1	30.70	0.396	0.757	
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	39.4	13.15	0.169	0.916	
Residuals	32	2483.4	77.61			

Een factoriële ANOVA analyse is ook uitgevoerd voor het OWG van de knollen bij de eindoogst. De resultaten van die ANOVA zijn weergegeven in . Voor het OWG geldt dat er geen significante effecten en interacties tussen effecten naar voren zijn gekomen aan de hand van de factoriële ANOVA analyse.

Tabel 0-12: ANOVA van (OWG ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij OWG het onderwatergewicht van de knol is tijdens de oogst, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
ca_vorm	1	30	30	0.002	0.962	
beregening	1	196	196	0.015	0.903	
k50_kgha	1	6617	6617	0.512	0.479	
timing_plaatsing	3	37	12	0.001	1.000	
ca_vorm:beregening	1	6	6	0.000	0.983	
ca_vorm:k50_kgha	1	84	84	0.007	0.936	
beregening:k50_kgha	1	15	15	0.001	0.973	
ca_vorm:timing_plaatsing	3	353	118	0.009	0.999	
beregening:timing_plaatsing	3	49	16	0.001	1.000	
k50_kgha:timing_plaatsing	3	490	163	0.013	0.998	
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	1	1	0.000	0.994	
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	423	141	0.011	0.998	
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	709	236	0.018	0.997	
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	247	82	0.006	0.999	
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	78	26	0.002	1.000	
Residuals	32	413500	12922			

Factorinteracties na bewaring

Het (gecombineerde) effect van de verschillende factoren op de inwendige kwaliteit van de knollen na bewaring is weergegeven in Tabel 0-13. Ook voor de inwendige kwaliteit van de knollen na bewaring geldt dat er geen significante effecten en interacties tussen effecten van timing en plaatsing van Ca-meststoffen, de meststofkeuze, een extra K-gift en extra beregening naar voren zijn gekomen aan de hand van de factoriële ANOVA analyse. Tabel 0-13: ANOVA van (inw_kwal ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij inw_kwal het aantal knollen met inwendige gebreken is na bewaring, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
ca_vorm	1	12.2	12.25	0.154	0.698	
beregening	1	2.2	2.25	0.028	0.868	
k50_kgha	1	174.5	174.46	2.188	0.149	
timing_plaatsing	3	138.5	46.17	0.579	0.633	
ca_vorm:beregening	1	25.0	25.00	0.314	0.579	
ca_vorm:k50_kgha	1	7.7	7.72	0.097	0.758	
beregening:k50_kgha	1	3.4	3.37	0.042	0.839	
ca_vorm:timing_plaatsing	3	46.2	15.42	0.193	0.900	
beregening:timing_plaatsing	3	85.2	28.42	0.356	0.785	
k50_kgha:timing_plaatsing	3	2.3	0.76	0.010	0.999	
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	42.2	42.24	0.530	0.472	
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	98.0	32.67	0.410	0.747	
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	148.3	49.43	0.620	0.607	
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	51.3	17.11	0.215	0.886	
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	6.1	2.04	0.026	0.994	
Residuals	32	2551.7	79.74			

De resultaten van de factoriële ANOVA uitgevoerd om de effecten en interacties van effecten van Ca-bemesting op het OWG van de knollen na bewaring zijn weergegeven in Tabel 0-11. Uit de resultaten van de ANOVA valt op te maken dat de hoofdeffecten van de factoren en interacties van factoren geen significante invloed hebben op het OWG in de knol na bewaring.

Tabel 0-14: ANOVA van (OWG ~ Ca_vorm * beregening * K_niveau * Ca_tijdstip * control) bij 32 behandelingscombinaties met twee herhalingen (beide locaties). Waarbij OWG het onderwatergewicht van de knol is na bewaring, Ca_vorm de meststofkeuze is, beregening aangeeft of er wel/niet beregend wordt, K_niveau de K-gift aangeeft en control de controlfactor is.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
ca_vorm	1	30	30	0.002	0.962	
beregening	1	196	196	0.015	0.903	
k50_kgha	1	6617	6617	0.512	0.479	
timing_plaatsing	3	37	12	0.001	1.000	
ca_vorm:beregening	1	6	6	0.000	0.983	
ca_vorm:k50_kgha	1	84	84	0.007	0.936	
beregening:k50_kgha	1	15	15	0.001	0.973	
ca_vorm:timing_plaatsing	3	353	118	0.009	0.999	
beregening:timing_plaatsing	3	49	16	0.001	1.000	
k50_kgha:timing_plaatsing	3	490	163	0.013	0.998	
ca_vorm:beregening:k50_kgha	1	1	1	0.000	0.994	
ca_vorm:beregening:timing_plaatsing	3	423	141	0.011	0.998	
ca_vorm:k50_kgha:timing_plaatsing	3	709	236	0.018	0.997	
beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	247	82	0.006	0.999	
ca_vorm:beregening:k50_kgha:timing_plaatsing	3	78	26	0.002	1.000	
Residuals	32	413500	12922			



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl