

De mogelijkheden van ozon gebruik in de bewaring van aardappelen

Mark Timmermans

Vierdejaars Tuin- en Akkerbouw

1-6-2016

Afstudeerdocent: Dhr. Haak

De mogelijkheden van ozon gebruik in de bewaring van aardappelen

Dit rapport is gemaakt in opdracht van:

Grimme Skandinavien
Løvhegnet 9-11
DK-8840 Rødkærsbro
Denemarken
www.grimme.dk

CAH Vilentum
De Drieslag 4
8251 JZ Dronten
www.cahvilenum.nl

Afstudeerdocent:

Dhr. Haak

Auteur:

Mark Timmermans

Mailadres:

mc.timmermans@outlook.com

Opleiding:

Tuin- en Akkerbouw

Minor:

Gezonde gewassen & Buitenlandse
bedrijfsleiderschap

Datum:

1 juni 2016

Plaats:

Viborg (Denemarken)

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie die ik geschreven heb in opdracht van Grimme Skandinavien. In dit rapport zullen we de mogelijkheden van ozon gebruik in de aardappelbewaring onderzoeken. Het rapport is geschreven tijdens mijn afstudeerstage voor de opleiding “Tuin- en Akkerbouw” aan de Vilentum Hogeschool in Dronten.

Het onderwerp van deze scriptie is tot stand gekomen vanuit de vraag van Grimme Skandinavien, om te onderzoeken of ozon toepasbaar is in de aardappelbewaring. Tijdens mijn stage heb me kunnen verdiepen in deze materie wat resulteerde in deze scriptie .

Dit rapport is tot stand gekomen door hulp van verschillende personen. Allereerst zou ik graag Grimme Skandinavien willen bedanken voor de mogelijkheid om in Denemarken stage te mogen lopen en voor de vrijheid die ik kreeg om mijn scriptie te maken. In het bijzonder wil ik Dhr. Baars, werkzaam bij Grimme Skandinavien, bedanken voor mijn afstudeerstage. Daarnaast zou ik graag Dhr. Buiting willen bedanken. Dhr. Buiting is werkzaam bij het Nederlandse Agrozone en heeft enkele vragen over de toepassing van ozon kunnen beantwoorden. Als laatste wil ik graag Dhr. Haak bedanken. Dhr. Haak was mijn afstudeerdocent, die mij van feedback heeft voorzien.

Mark Timmermans

Viborg, juni 2016

Inhoud

Samenvatting.....	7
Summary	8
1. Inleiding	9
1.1 Totstandkoming van het onderwerp.....	9
1.2 Doelgroep	9
1.3 Relevantie van het onderwerp	9
2. Probleemstelling.....	11
3. Eigenschappen van ozon	13
3.1 Ozon.....	13
3.2 Oxidatie	13
3.3 Toxiciteit	14
3.4 Toepassingen binnen en buiten de sector	14
3.5 Negatieve luchtionen	15
4. Bewaarziektes.....	16
4.1 Phytophthora.....	16
4.2 Fusarium	17
4.3 Rhizoctonia	18
4.4 Zilverschurft.....	19
4.5 Erwinia	20
5. Resultaten literatuuronderzoek	21
5.1 Resultaten phytophthora onderzoek	21
5.2 Resultaten fusarium onderzoek	24
5.3 Resultaten rhizoctonia onderzoek.....	24
5.4 Resultaten zilverschurft onderzoek.....	25
5.5 Resultaten Erwinia.....	26
5.6 Ozon in combinatie met negatieve luchtionen	26
5.7 Ozon effect op de aardappel	27
6. Toepasbaarheid in de bewaring	28
7. Belemmeringen/problemen.....	30
8. Conclusie en aanbevelingen	31
8.1 Conclusie	31
8.2 Aanbevelingen.....	31
9. Bibliografie.....	32

10. Bijlagen	34
Bijlage 1. Checklist Schriftelijk Rapporteren.....	34

Samenvatting

Ozon is een gasvormige stof die in staat is om vluchtige stoffen, bacteriën, virussen en schimmels te oxideren. Door deze eigenschap wordt ozon gebruikt in vele verschillende sectoren met verschillende doeleinden. In de lucht heeft ozon een halfwaardetijd van 20 tot 50 minuten en in water een halfwaardetijd van 1 tot 10 minuten en is dus een instabiel gas. Doordat ozon uiteenvalt, blijft er geen residu achter. Dit is erg gewenst vanwege voedselveiligheid en milieu. Negatieve luchtionen hebben deels dezelfde werking als ozon. Het is bekend dat negatieve luchtionen de werking van ozon versterken. Te hoge ozon concentraties zijn schadelijk voor de gezondheid. Langdurige blootstelling aan concentraties van 4 ppm is dodelijk.

In verschillende landen heeft er onderzoek plaats gevonden over de effecten van ozon op verschillende bewaarziekten in aardappelen. Zo zijn de effecten bekend bij; phytophthora, fusarium, rhizoctonia en erwinia.

Ozon heeft beperkt effect op de phytophthora schimmel. In het gunstigste geval is ozon in staat om de myceliumgroei af te remmen. Dit heeft echter geen effect op de sporulatie van de schimmel. Ondanks dat ozon in staat is om een infectie af te remmen, biedt het weinig perspectief.

Fusarium is een schimmel die via een wond de knol binnen komt. Om dit voorkomen werd ozon snel na het rooien toegepast. Ondanks deze toepassing is ozon niet in staat om infecties tegen te gaan. Zodra de infectie in de knol zit, zal ozon hier niet meer bij kunnen. Ook het myceliumgroei wordt niet tegen gegaan door ozon.

Rhizoctonia is een langzaam groeiende schimmel die zeer tolerant is tegen vormen van stress. Dit maakt de bestrijding deze schimmel moeilijker. Ozon is niet geschikt als bestrijding. Ook langere behandelingsduren met hoge concentraties (85 ppm en hoger) levert geen positief resultaat.

Zilvereschurft is één van de meest voorkomende bewaarziekte in aardappelen. De onderzoeken komen met tegenstrijdige resultaten. In 2003 concludeerden Waterer, Thomson en Spencer dat ozon geen effect had op deze schimmel. Deze conclusie werd bevestigd door onderzoek uit 2007 gedaan door Bus en Veerman. Ander onderzoek uit 2003 kwam echter tot de conclusie dat ozon wél effect op zilvereschurft. Dit werd behaald door continu ozon in de bewaring toe te passen.

Ozon had meer succes bij erwinia. Onderzoek toont aan dat er verschillen zijn tussen de verschillende erwinia-soorten. Ondanks dat deze resultaten een positiever effect toonde, was het resultaat alsnog teleurstellend. Na een behandeling van 4 uur lag de gemiddelde doding nog maar op 13%, dit was behaald door middel van een hoge ozon concentratie van 400 ppm. Een gecombineerde toepassing van negatieve luchtionen en ozon geeft overigens wel een veelbelovend resultaat. Na een behandeling van 6 uur was het aantal vitale cellen met 96% gedaald.

Ozongehaltes van rond de 1 ppm zullen niet schadelijk zijn voor de knollen. Waar de schadedrempel precies ligt is niet bekend. Wat wel bekend is, is dat ozon de kurklaag, verkregen tijdens het wondhelingsproces, significant dunner maakt. Dit kan resulteren in vochtverlies en in een infectie van pathogenen.

Aan de hand van deze besproken resultaten kan geconcludeerd worden dat de toepassing van ozon in de aardappelbewaring zeer beperkt is.

Summary

Ozone is a gas which is capable of oxidizing bacteria, viruses, fungus and other organic materials. Because of its disinfecting character it's used in many different applications in many sectors. Ozone has a lifespan of 20 to 50 minutes in the atmosphere. Ozone mixed in water has a lifespan of only 1 to 10 minutes. Once ozone is deteriorated there aren't any residues, which makes it a very popular because food safety issues. Negative air ions (NAI's) have a somewhere similar function as ozone but are not harmful for human. Research showed there is a synergy between NAI's and ozone. High ozone concentrations are harmful.

Research about ozone as a post-harvest treatment is done in several countries. These researches investigated the effects of ozone on different storage diseases. Such as phytophthora, fusarium, rhizoctonia and erwinia.

Ozone had little effect on phytophthora. Ozone was able to slow down the mycelium growth, but did not alter the sporulation. Even though ozone was able to slow down the infection a little, we conclude that it has limited potential as a treatment against phytophthora.

Fusarium is a fungus that will need an entry wound in order to infect the tuber. The ozone was applied as soon as possible to avoid infection. Despite the efforts of multiple researches, there weren't any positive results. Ozone wasn't able to stop or slow the sporulation.

Rhizoctonia is a very slow growing fungus which is very tolerant against any forms of stress. This makes the treatment a lot more difficult. Results showed that ozone wasn't able to alter any infection. Even treatment with higher concentrations (>85 ppm) over a longer period were not successful.

Silver scurf is a very common disease during storage. The researches showed contradicted results. In 2003 research done by Waterer, Thomson and Spencer showed us ozone did not have any effects on silver scurf. These results were confirmed by research done in 2007 by Bus and Veerman. Other research from 2003 came to the conclusion that ozone had an effect on silver scurf.

Ozone had more effect on treating erwinia. Even though the researches had more success on erwinia, the results are still quite disappointing. Best case scenario was a decrease of 13% after a 4 hour treatment with a concentration of 400 ppm. The combination of NAI's and ozone had much more success. After a 6 hour treatment the amount of viable cells were decreased by 96%.

Ozone concentrations around 1 ppm will not damage any tubers. The level of ozone that will damage the tuber is unknown. Ozone treatment will decrease the wound periderm thickness which could result in infections and excessive weight loss.

Based on the result of all the consulted researches, it appears ozone has a limited potential as a disease management tool in the storage of potatoes.

1. Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt het tot stand komen van het onderwerp van het afstudeerwerkstuk. De doelgroep zal beschreven worden en waarom het gekozen onderwerp relevant is voor de doelgroep.

1.1 Totstandkoming van het onderwerp

Tijdens het zoeken naar mijn buitenlandse afstudeeronderwerp kwam ik in contact met Dhr. Baars van Grimme Skandinavien. Grimme Skandinavien is de importeur van Grimme machines in Skandinavië en is daarnaast ook dealer van Sercom. Sercom is een Nederlands bedrijf dat zich specialiseert in de klimaattechniek van bewaringen in de tuinbouw. In Scandinavië zijn ze ook zeer actief in de bewaring van aardappelen en uien.

Het idee om ozon toe te passing in de bewaring van aardappelen is afkomstig van Arjen Baars. Uit gesprekken met Sercom werd duidelijk dat ozon al enige tijd met succes in de bewaring van tulpenbollen wordt toegepast om schimmelziektes en mijten te bestrijden. Tegelijkertijd waren er ook klanten in Denemarken die op zoek waren naar een manier om de kwaliteit van hun product beter te kunnen waarborgen. Zodoende is het idee ontstaan om te kijken of het mogelijk is om ozon in de bewaring toe te passen.

1.2 Doelgroep

De doelgroep van deze literatuurstudie zijn aardappeltelers. Het rapport is bedoeld om na te gaan of ozon toepasbaar is in de bewaring van aardappelen. Zo moet de doelgroep na het lezen van dit verslag een goede indruk hebben wat ozon precies doet en of het toepassen hiervan een meerwaarde kan opleveren voor hun product. Een meerwaarde kan betekenen dat de kwaliteit van het product beter is, bijvoorbeeld geen of minder aantasting van zilverscurft en betere weerbaarheid tegen Phytophthora, Fusarium, Rhizoctonia en Erwinia.

1.3 Relevantie van het onderwerp

De gehele voedselketen en de consumenten verlangen naar schonere, veiligere en duurzamere producten. De producenten worden gedwongen om met minder gewasbestrijdingsmiddelen en minder geneesmiddelen schonere producten te produceren. De officiële vastgestelde MRL's (Maximale Residu Limiet) zijn voor de supermarkten en sommige landen niet meer van toepassing en hebben plaats gemaakt voor hun eigen lagere normen. Op dit moment hanteert Lidl een norm van maximaal 1/3 MRL norm en is hiermee van alle supermarkten in Nederland het strengst. Ook andere partijen mengen zich in de discussie van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. In april 2016 maakte Greenpeace zich hard om verschillende producten uit de schappen te halen die in aanraking zijn geweest met gewasbeschermingsmiddelen die aan de bijensterfte gelinkt worden.

Deze ontwikkelingen maken het noodzakelijk om alternatieven te onderzoeken. Door de toepassing van alternatieven zal het misschien mogelijk zijn om gewasbeschermingsmiddelen te vervangen of het gebruik hiervan terug te laten dringen. Eén van de mogelijkheden om dit te bereiken is het gebruik van ozon. Ozon heeft de eigenschap om schimmels, bacteriën en parasieten te bestrijden zonder enig residu achter te laten. In de bewaring van appels, peren, tulpen en nog veel meer producten wordt ozon al met succes gebruikt. Het product heeft minder last van aantastingen van verschillende pathogenen en is het gebruik van gewasbestrijdingsmiddelen terug gedrongen.

In de aardappelbewaring zijn er verschillende ziektes die het product kunnen aantasten. Eén van de meest voorkomende ziekte is zilverschurft (*Helminthosporium solani*). Deze schimmel kan zich in de bewaring sterk vermeerderen en hierdoor de kwaliteit van het product verlagen. Verder zorgt de Erwinia bacterie voor grote problemen in pootgoedteelt. Ook in de bewaring kan deze ziekte zich sterk uitbreiden, waardoor het zeer gewenst is om hier een bestrijding tegen te vinden. Daarnaast kunnen Rhizoctonia, Fusarium en Phytophthora ook voor grote problemen zorgen. Het is ook in dit geval gewenst om vermeerdering in de bewaring tegen te gaan. Al deze ziektes zijn zeer goed bekend bij de doelgroep en een bestrijding tegen één of meerdere van deze ziektes staat bij de doelgroep hoog in het vaandel. Vervolgens wordt er afgesloten met de bijlages in hoofdstuk 10.

2. Probleemstelling

Over het onderwerp is al het nodige onderzoek gedaan. Het is algemeen bekend dat ozon als ontsmettingsmiddelen kan gebruikt worden. Enkele toepassingsgebieden zijn;

- Desinfectie van lucht in opslagruimtes, wordt voornamelijk gebruikt in fruit.
- Desinfectie van water, zowel waswater, drinkwater en koelwater.
- Het afbreken van etheen.
- Het wassen en desinfecteren van groente en fruit in geozoniseerd water
- Ozontherapie
- Het verlengen van houdbaarheid van vlees en vis
- Het verminderen van geurproblemen.

Naast deze toepassingen wordt er nog veel geëxperimenteerd. In de aardappelbewaring hebben er, wereldwijd, al meerdere proeven plaats gevonden die verschillende resultaten geven. Er is onderzoek gedaan naar het effect van ozon op verschillende bewaarziekten als Rhizoctonia, Fusarium, Erwinia en Zilverfurf (Spencer, 2003). Ook in Nederland hebben er al meerdere onderzoeken plaats gevonden. Zo is er gekeken naar de mogelijkheid om ozon toe te passen in pootgoed. Dit onderzoek beschrijft het effect bij een toepassing op verschillende tijdstippen met verschillende doseringen en met de combinatie met UV licht (Bus & Veerman, 2007). Naast aardappelen is er veel aandacht besteed aan andere gewassen zoals graszaad, broccoli, wortels, kiwi en aardbeien. Ook in deze gewassen wordt er gekeken welke mogelijkheden er zijn om schimmels, bacteriën en insecten tegen te gaan met behulp van ozon (Brink & Versluis, 2004). Door het eerder genoemde onderzoek en andere onderzoeken is het al vrij duidelijk waar ozon geschikt voor is en waar niet. Eén van de aspecten die opvallen is dat sommige onderzoekresultaten elkaar soms tegenspreken. Vandaar dat het van groot belang is om meerdere onderzoeken naast elkaar te leggen zodat één groter geheel ontstaat. Verder zijn deze onderzoeken vaak niet bekend bij de doelgroep. De onderzoekresultaten levert de doelgroep veel informatie op die zij kunnen gebruiken voor hun eigen situatie. Dit verslag heeft als doel de mogelijkheden van ozongebruik in de aardappelbewaring aan te geven.

De hoofdvraag luidt;

Biedt ozon mogelijkheden in de aardappelbewaring?

Deze hoofdvraag kan onderverdeeld worden in de volgende deelvragen;

- Wat is ozon?
- Hoe wordt ozon geproduceerd?
- Waar wordt ozon voor gebruikt?
- Wat zijn de meest voorkomende bewaarziekten in aardappelen?
- Wat is het effect van ozon op de bewaarziekten?
- Wat is het effect van ozon op aardappelen?
- Welke dosering zijn er gebruikt en welke resultaten heeft dit opgeleverd?

Er zijn verschillende hypothesen mogelijk. Eén van de mogelijkheden kan zijn dat ozon een gunstig effect heeft op de kwaliteit van het product waardoor het aan te bevelen is om toe te passen. Een gunstig effect op het product kan betekenen dat bestaande ziektes bestreden wordt of dit kan betekenen dat verspreiding van deze ziektes tegengegaan wordt. Verder is het mogelijk dat ozon geen meerwaarde heeft voor de bewaring en eventueel zelfs schadelijk is voor het product, de installatie en de gebruiker.

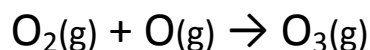
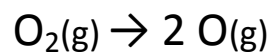
Hoofdstuk drie zal de eigenschappen van ozon behandelen, het oxidatie proces uitleggen, de toxiciteit bespreken, de toepassingen opsommen en informatie verstrekken over negatieve luchtionen. In hoofdstuk vier zullen de bewaarziektes aanbod komen. Dit hoofdstuk zal de volgende ziektes behandelen; Phytophthora, Fusarium, Rhizoctonia, zilverschurft en Erwinia. In hoofdstuk vijf zullen de resultaten van het literatuuronderzoek behandeld worden. De toepasbaarheid van ozon en de ervaringen van Dhr. Buiting worden behandeld in hoofdstuk zes. Hoofdstuk zeven behandelt de valkuilen van ozon. Vervolgens wordt de conclusie getrokken inclusief aanbevelingen, dit staat in hoofdstuk acht. De literatuurlijst is te vinden in hoofdstuk negen.

3. Eigenschappen van ozon

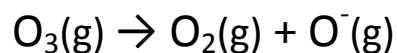
Voordat we de effecten van ozon kunnen bespreken, moet eerst duidelijk worden wat ozon precies is. Dit hoofdstuk zal de vorming van ozon behandelen, de eigenschappen bespreken en de werking van het oxidatie proces behandelen. Deze eigenschappen zorgen voor veel verschillende toepassingsgebieden die ook in dit hoofdstuk aanbod komen. Naast ozon zullen ook de negatieve luchtionen behandeld worden. Deze stof lijkt deels op ozon en heeft eventueel een toekomst in de bewaring van aardappelen.

3.1 Ozon

In de atmosfeer ontstaat ozon van nature onder invloed van elektrische ontladingen, zoals onweer, en door ultraviolette straling. Ozon ontstaat door het uitéén vallen van één zuurstof atoom. Na het uitéén vallen van dit molecuul blijven twee zuurstof atomen over die allebei met een zuurstofmolecuul kunnen reageren tot ozon, zoals hieronder in twee reactievergelijkingen duidelijk wordt gemaakt.



Dit proces vindt voornamelijk plaats in de bovenste laag van de atmosfeer op 15 kilometer hoogte. Deze ozonlaag met een dikte van 20 kilometer is zeer wenselijk vanwege de beschermende werking tegen ultraviolette straling afkomstig van de zon. Door deze ultraviolette straling ondergaat de ozonmolecuul fotolyse waardoor ozonisatie optreedt zoals hieronder te zien is (Infonu, n.b.).



Het derde atoom splitst zich af met een negatieve lading. Dit negatieve atoom heeft de eigenschap om diverse stoffen, zoals organisch materiaal en residuen van gewasbeschermingsmiddelen, te oxideren. Als er geen stof in de lucht is om te oxideren zullen de overgebleven negatieve zuurstofionen weer reageren tot zuurstof (O_2). Ozon is gemakkelijk te maken en heeft in de atmosfeer een halfwaardetijd van 20-50 minuten en in water een halfwaardetijd van 1-10 minuten en is dus een instabiel gas. Door het uiteen vallen van ozon in zuurstof en een negatief zuurstofmolecuul blijft er geen residu achter (Brink & Versluis, 2004). Dit is in verband met voedselveiligheid en milieuvervuiling gewenst.

3.2 Oxidatie

Oxidatie is het proces waarbij een stof (de reductor) elektronen afgeeft aan een andere stof (de oxidator) en is een vorm van verbranden. Ozon bestaat uit drie zuurstofatomen. Zodra ozon in contact komt met iets oxideerbaars, zal één zuurstof atoom overspringen naar die stof. Ozon is in staat om vluchtige stoffen te oxideren zoals etheen. Dit maakt ozon geschikt voor de bewaring van etheen gevoelige groenten, fruit en bloembollen (Balkhoven-Baart, Roelofs, & Jong, 2009).

Naast het oxideren van vluchtige stoffen is ozon ook in staat om bacteriën, virussen en schimmels te verdelgen. Een lage concentratie ozon verstoort de stofwisseling van bacteriën door in te grijpen op verschillende processen. Lage concentraties kunnen virussen en bacteriën vernietigen doordat ozon door de eiwitmantel gaat door middel van diffusie. Eénmaal in het virus zal ozon het DNA en het RNA in het nucleïnezuur beschadigen waardoor het virus afsterft. Hoge ozon concentraties zijn in staat om het eiwitmantel te oxideren waardoor het nucleïnezuur met het DNA en RNA niet langer meer beschermd zijn en beschadigd raken (NuTek International, 1995). Ook de membranen van schimmels worden geoxideerd waardoor de schimmels beschadigd raken en uiteindelijk zullen afsterven (Balkhoven-Baart, Roelofs, & Jong, 2009).

3.3 Toxiciteit

Ook voor de mens zijn er risico's bij het inademen van ozon. Langdurige blootstelling aan concentraties van 4 ppm is dodelijk (Balkhoven-Baart, Roelofs, & Jong, 2009). In Nederland wordt er gebruik gemaakt van de MAC waarde en deze geeft aan wat de maximale aanvaarde concentratie is van een schadelijke stof. Voor ozon geldt een MAC waarde voor een normale blootstelling, van 8 uur per dag, 5 dagen per week, van 0,06 ppm. Een blootstelling van 0,3 ppm mag niet langer duren dan 15 minuten (Lenntech, n.b.). Te hoge concentraties kunnen leiden tot fysiologische veranderingen in de longfunctie, dat kan leiden tot verminderde ademhalingscapaciteit. Bij langdurige blootstelling kan extreme vermoeidheid optreden en wordt het zenuwstelsel aangetast wat leidt tot verlies van concentratie, coördinatie en het visueel vermogen (Alink, Ozon, 1986). Ozon concentraties van 0,02 tot 0,05 ppm zijn al te ruiken door mensen.

3.4 Toepassingen binnen en buiten de sector

Ozon wordt al meer dan 100 jaar toegepast in het zuiveren van zowel bronwater, drinkwater en water afkomstig van waterzuiveringsinstallaties om onder andere legionella te bestrijden (Ruijven, n.b.). Veel sectoren zijn afhankelijk van ozon. Hotels en resorts gebruiken ozon om het drinkwater, afvalwater en het irrigatiewater te behandelen. In de papier- en pulpindustrie wordt ozon gebruikt om het afvalwater te behandelen zodat het hergebruikt kan worden of voordat het geloosd wordt. De energie sector gebruikt grote hoeveelheden koelwater. Ook hier wordt gebruikt gemaakt van ozon om dit water te schonen. In de mijnbouw wordt ozon voornamelijk gebruikt om de zuurgraad van afvalwater te verlagen en voor metalen en sulfaat te verwijderen. In de chemie en farmacie is het noodzakelijk om gebruik te maken van ultra puur water. Dit water wordt verkregen door filtratie, koeling, verwarming en desinfectie met behulp van ozon (Lenntech, n.b.).

Ozon werd in de jaren zeventig en tachtig ontdekt in de tuinbouwsector. Ozon werd enthousiast ontvangen door de sector. Door ontwerpfouten, verkeerde materiaalkeuze, onvoldoende veiligheidsvoorzieningen en onvoldoende onderhoud kreeg ozon de reputatie van gevaarlijk en niet bruikbaar. Tegenwoordig wordt ozon gezien als mogelijkheid om te ontsmetten en het afbreken van groei remmende stoffen in drainwater, het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater en het verhogen van het zuurstofniveau in een voedingsoplossing. Een toepassing van ozon alleen zal deze doelstellingen niet halen. Omdat ozon niet selectief te werk gaat, is het van groot belang om het water eerst goed te filtreren zodat zoveel mogelijk organisch materiaal verwijderd is. Dit resulteert in een lagere ozondosering en lagere kosten (Ruijven, n.b.).

In het buitenland worden verschillende producten bewaard met een ozon toepassing. In de bewaring van appel, peer, bessen, zoete kers, sinaasappel, druif, perzik, kiwi aardbei en broccoli. Ozon wordt hierbij voornamelijk gebruikt als schimmelbestrijder. Hierbij worden concentraties gebruikt van 0,2 tot 1,5 ppm ozon. Voor de bestrijding van bacteriën zijn hogere concentraties nodig, dit gaat van 8 ppm tot 3600 ppm. Tegen insecten zijn concentraties van 50 ppm werkzaam. In het geval van een ultra-low oxygen bewaring in de fruitteelt heeft een ozon toepassing tegen insecten geen zin. Door het lage zuurstofgehalte en hoge koolzuurgehalte zijn de omstandigheden al dodelijk voor insecten (Balkhoven-Baart, Roelofs, & Jong, 2009).

3.5 Negatieve luchtionen

Het negatieve zuurstof ion dat vrijkomt na het uiteenvallen van ozon is een negatief luchtion. Naast dit ion zijn er ook negatieve zuurstofmoleculen (O_2^-) die in de lucht voorkomen. De alternatieve geneeskunde beweert dat deze negatieve luchtionen een positief effect hebben op de menselijke gezondheid. Ondanks dat de meningen hierover verschillen, is aangetoond dat deze negatieve luchtionen de werking van ozon versterkt. Negatieve luchtionen hebben een bacteriostatische werking. Dit houdt in dat ze geen bacteriën doden maar ze beletten de vermenigvuldiging. Uit proeven op drie verschillende bacteriën kwam naar voren dat het aantal vitale cellen sterk afnam na een behandeling van zowel ozon als andere negatieve luchtionen (Fan, Song, Hildebrand, & Forney, 2002). Deze negatieve luchtionen verschillen met ozon op enkele vlakken. Allereerst zijn negatieve luchtionen niet schadelijk en geurloos. Ze zorgen voor een afname van stof in de lucht en tasten natuurlijke rubber niet aan.

4. Bewaarziektes.

In dit hoofdstuk zullen enkele belangrijke bewaarziektes beschreven worden. Schimmelziektes zoals *Phytophthora*, zilverschurft, *Rhizoctonia* en *Fusarium* komen aanbod. Ook zal *Erwinia* aan bod komen. Na het lezen van dit hoofdstuk is de levenscyclus van deze aan tasters duidelijk en wat ze in de bewaring kunnen aanrichten. Ook de schade die ze in de bewaring kunnen aanrichten wordt besproken.

4.1 *Phytophthora*

Phytophthora, ook wel beter bekend als de aardappelziekte, wordt veroorzaakt door de *Phytophthora infestans* schimmel. Deze parasiet leeft ten koste van de aardappelplant en kan alleen in stand gehouden worden door aardappelweefsel. Met het afsterven van de plant of bij zware regen kan de schimmel bij de knol terecht komen. *Phytophthora* heeft een bekend aantastingsbeeld met necrotische vlekken op het aardappelblad. Bij de juiste weeromstandigheden zal er rond deze necrotische vlekken schimmelpuis bevinden die voor sporulatie zorgen. Dit schimmelpuis bestaat uit conidiëndragers en zal bij gunstige weersomstandigheden conidiën verspreiden met behulp van de wind. Hierdoor kunnen gezonde planten geïnfecteerd raken. Een hoge luchtvochtigheid en donker weer zijn uitstekende omstandigheden voor de schimmel. Voordat de schimmel de plant kan binnen dringen, zal de spoor eerst moeten kiemen. Dit duurt een aantal uren en zal enkel plaats vinden op nat blad. De normale dauwperiode gedurende de nacht is te kort om de infectie tot stand te brengen. Deze dauwperiode zal verlengd moeten worden door regen, dauw of irrigatie zodat de spoor tijd heeft om te kiemen. *Phytophthora* kan zich snel uitbreiden onder warme en regenachtige dagen (Jong, 1985).

Zodra de sporen bij de knollen terecht komen, zullen deze kiemen waarna ze de knollen binnen dringen via de lenticellen, ogen en barstjes in de schil. In natte jaren, met zware regenbuien is de kans op zieke knollen het grootst. Knolaantasting kan op iedere grondsoort voorkomen maar zal zich voornamelijk op zwaardere en nattere gronden tot problemen leiden. Een aantasting begint als schemerende vlekjes die door de schil blauwachtig kleuren. Deze vlekjes zullen na loop van tijd uitdrogen en bobbelig raken. Het aangetast weefsel zal verkleuren naar roestbruin.

In de bewaring kan de schimmel zich in de knol verder ontwikkelen en gaan sporuleren waarbij gezonde knollen geïnfecteerd kunnen raken. Zulke aantastingen gaan vaak over in nat- of droogrot. Partijen die door *Phytophthora* zijn aangetast zullen in de bewaring snel gedroogd moeten worden (Mulder & Turkensteen, 2008).

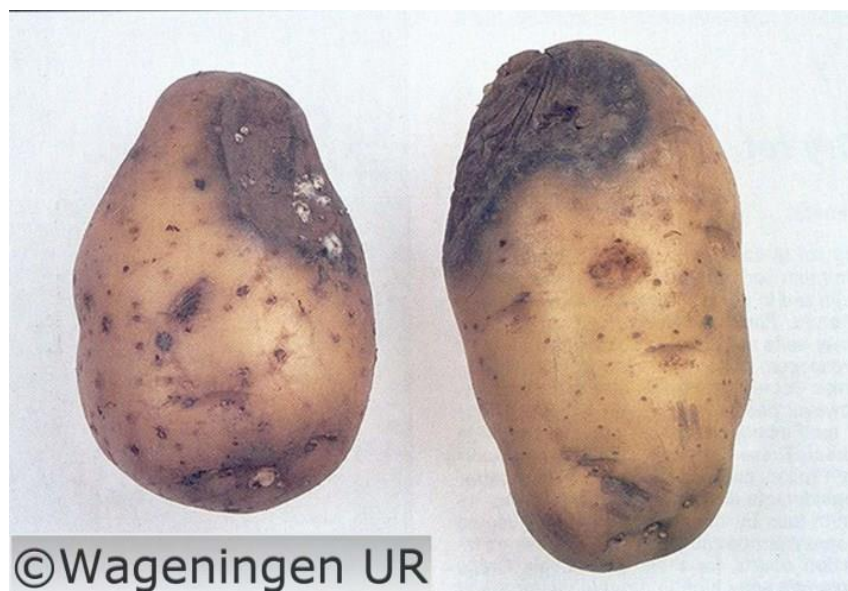


Figuur 1. Aangetaste knol door *Phytophthora* (PPO Wageningen UR, n.b.).

4.2 Fusarium

Fusarium is een schimmel die ook bekend is als droogrot. Deze ziekte is een echte bewaarziekte en zal enkel verschijnen in de bewaring. Er zijn enkele Fusarium soorten die vrijwel identieke symptomen veroorzaken. In het Noordwesten van Europa komen de volgende Fusarium voor; *Fusarium avenaceum*, *F. coeruleum*, *F. oxysporum* en *F. sulphureum* (Mulder & Turkensteen, 2008). Omdat Fusarium een wond of zwakte parasiet is, moet de knol beschadigd of verzwakt zijn voordat de schimmel de knol kan binnentreden. Deze beschadigingen zijn veelal veroorzaakt bij het rooien en het bewerken van de aardappelen. Besmette machines, kisten en bewaarruimtes kunnen gezonde knollen besmetten. Daarnaast kan het product beschadigd worden door andere ziektes zoals poederschurft, Phytophthora en aantastingen door aaltjes en insecten. Oudere knollen worden vatbaarder voor de schimmel, zeker in combinatie met het afkiemen. De vatbaarheid zal hierdoor verder toenemen en de knollen worden gevoeliger voor beschadigingen.

Aangetaste knollen zullen bruine vlekjes vertonen die langzaam overgaan in droogrot. Doordat de knol uitdroogt zal de knol uiteindelijk kunnen mummificeren. Door deze uitdroging en daarmee krimp van het weefsel zullen holtes ontstaan. Bij het doorsnijden van de rotte plekken zijn deze plekken vaak licht tot donkerbruin gekleurd en zijn de holtes gekleurd met blauwachtig schimmelpuis. Het rotten van de knol gebeurt vrij langzaam en de aangetaste knollen zullen vaak droog blijven. Vandaar de naam droogrot. Bij de juiste omstandigheden, hoge temperatuur en luchtvochtigheid, kan het rottingsproces echter zeer snel verlopen. Het aangetast weefsel zal vochtig raken en kan met de duim worden ingedrukt. Knollen met zulke symptomen zijn ook bekend als duimrot. Het poten van besmet pootgoed resulteert in een slechte opkomst (Jong, 1985).



Figuur 2. Fusarium (PPO Wageningen UR, n.b.).

4.3 Rhizoctonia

De schimmel *Rhizoctonia solani* is een in de grondvoorkomende schimmel die in veel verschillende gewassen schade kan veroorzaken. In de praktijk wordt de naam lakschurft vaak gebruikt. De schimmel plant zich voort door middel van ongeslachtelijke vermenigvuldiging met behulp van conidiën. De schimmel gedijt voornamelijk goed op lichte zavelgrond en zand- en dalgrond. De schimmel kan overwinteren met behulp van sclerotiën op de knol. Deze sclerotiën vallen duidelijk op na het spoelen met water door hun zwarte kleur. Het zijn deze sclerotiën waar de naam lakschurft vandaan komt en deze zijn vrij gemakkelijk te verwijderen door deze van de knol te wrijven. De schimmel is ook in staat om op de knol te zitten in de vorm van schimmeldraden, het mycelium. Deze schimmeldraden zijn niet met het blote oog zichtbaar. Dit houdt in dat op het oog blank pootgoed toch besmet is met *Rhizoctonia*. Deze schimmeldraden zullen kris-kras over de knol groeien en een prop van schimmeldraden vormen. Deze prop zal van wit naar zwart kleuren waardoor zwarte sclerotiën overblijven. Deze sclerotiën hebben dikwandige cellen waardoor ze goed bestand zijn tegen rotting en andere vormen van afbraak. Sclerotiën kunnen meerdere keren kiemen voordat ze uitgeput raken en afsterven. Zo kunnen ze wel 7 jaar in leven blijven. Er zijn verschillende stammen *Rhizoctonia solani*. Naast de pathogene stammen zitten er ook veel onschuldige saprofytische stammen in de grond. Deze saprofytische stammen doen geen schade aan de knol maar kunnen wel sclerotiën vormen op de knol (Jong, 1985).

Aangetaste knollen hebben donkere gekleurde korstvormige structuren op de schil. Deze sclerotiën vormen lesies die de jonge scheuten van de knollen kunnen omringen waardoor het boven gelegen deel afsterft. Als een zijscheut wordt aangetast, zullen nieuwe zijscheuten uitlopen uit lager gelegen knoppen. Dit proces kan zich enkele malen herhalen. Bij een zeer ernstige aantasting kan dit leiden tot het verwelken van de plant kort na het opkomen of de scheuten komen niet boven de grond. Dit resulteert in een ongelijkmatig en onregelmatiger opkomend gewas met kans op een holle stand. Naast een slechte opkomst kan *Rhizoctonia* leiden tot “dry core” en tot misvormingen. Dry core zijn kleine ronde lesies met een gaatje in het midden van de lesie (Mulder & Turkensteen, 2008).

Omdat de *Rhizoctonia* schimmel zich aan de buitenkant van de knol bevindt is het hoogstwaarschijnlijk goed bereikbaar voor ozon in de bewaring.



Figuur 3. *Rhizoctonia* (PPO Wageningen UR, n.b.).

4.4 Zilverschurft

Zilverschurft is een veelvoorkomende schimmel in de aardappel veroorzaakt door de *Helminthosporium solani*. De symptomen zijn bij de oogst nauwelijks zichtbaar, maar kunnen tijdens de bewaring tot stand komen en uitbreiden. Een zilverschurft aantasting resulteert in een minder mooi product, meer vochtverlies en een product dat gevoeliger is voor beschadigingen en blauw.

Zilverschurft heeft kenmerkende zilvergrijs gekleurde vlekken die onregelmatig rond zijn. Deze vlekken kunnen zichzelf uitbreiden en uiteindelijk de gehele knol bedekken. De knol kan onder vochtige omstandigheden zwarte sporendragers vormen. Door het gevolg van extra uitdroging kunnen de knollen verschrompelen en minder goed kiemen.

Door een besmette moederknol te planten kan de schimmel in de grond de nieuwe knollen besmetten. De meeste besmettingen vinden echter plaats bij het rooien. De nieuwe knollen komen direct in aanraking met de besmette moederknollen waardoor besmetting kan plaatsvinden. Ook zijn er gevallen bekend van primaire infecties vanuit de grond. Dit kan gebeuren bij een te krappe aardappelrotatie en bij verwaarloosde aardappelopslag.

Zilverschurft kan in de bewaring sterk uitbreiden maar zal geen rot veroorzaken. Hogere temperaturen en hoge luchtvochtigheid en een vochtig product zijn ideale omstandigheden voor uitbreiding van *Rhizoctonia*. Bij bewaartemperaturen van 3°C en lager en een RV van 90% zal er geen uitbreiding plaatsvinden. De zilverschurft schimmel leeft in de kurklaag van de knol en zal de epidermiscellen aantasten. Door deze aantasting zal de schil steeds meer doorlatend worden waardoor de knol meer vocht verliest (Mulder & Turkensteen, 2008).

Doordat de schimmel niet diep in de knol zit, werd verwacht dat ozon geschikt zou zijn als bestrijdingsmethode tegen zilverschurft.



Figuur 4. Zilverschurft (PPO Wageningen, n.b.).

4.5 Erwinia

Erwinia is een bacterie waarvan drie soorten bekend zijn, met eigen sub soorten. Zo kunnen *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*, *Erwinia carotovorum* subsp. *carotovorum* en *Erwinia chrysanthemi* zwartbenigheid en stengelnatrot veroorzaken. Welke Erwinia soort zal domineren is afhankelijk van de weersomstandigheden. Voordat de spruiten van besmette knollen boven komen, kan het zijn dat de knollen al geheel zijn weggerot. Dit kan versterkt worden als er weinig zuurstof in de grond aanwezig is. Dit kan te wijten zijn aan een slechte structuur of door het verslempen na een zware regenbui. Naast het volledig wegrotten van knollen kan een infectie leiden tot donkerbruine verkleuringen aan het stolooneind of van het vaatweefsel. De Erwinia bacteriën kunnen twee aantastingsbeelden in het gewas vertonen; zwartbenigheid en stengelnatrot.

Zwartbenigheid begint bij het rotten van de stengel vanaf de moederknol en zal zwart kleuren. Dit hoeft niet alleen het ondergrondse gedeelte aan te tasten, maar ook bovengrondse delen. De stengel en het blad kunnen zwart verkleuren en zullen stijver zijn dan andere planten. Doordat aangetaste planten achterblijven in groei, kunnen ze bedolven worden door gezonde gewassen, waardoor deze planten moeilijk op te sporen zijn. De nieuwe knollen van een aangetaste plant zullen vanaf het stolooneind donker gaan kleuren en beginnen met rotten. Uitspreiding van het aangetast weefsel kan echter zeer langzaam gaan of hoeft zelfs helemaal niet te gebeuren. Dit is onder andere afhankelijk van het aardappelras.

Naast zwartbenigheid kan Erwinia ook stengelnatrot veroorzaken. Hierbij kan de plant beginnen te rotten waarbij de gehele plant aangetast kan worden. Het rot hoeft zich niet te verspreiden. In dat geval zal het boven gelegen gedeelte van de plant geheel afsterven. De topblaadjes van de aardappelplant kunnen onder droge omstandigheden op de warmste periode van de dag verwelken waarbij ze later weer herstellen. Bij zeer warme en drogende dagen kunnen deze topblaadjes zelfs geheel afsterven. Warme jaren zijn gunstig voor stengelnatrot. Besmette planten kunnen knollen aantasten, deze knollen zullen een waterig en geurloos rot ontwikkelen (Mulder & Turkensteen, 2008).



Figuur 5. Erwinia (PPO Wageningen UR, n.b.).

5. Resultaten literatuuronderzoek

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van verschillende onderzoeken beschreven worden. De werkwijze wordt in het kort toegelicht en het effect van ozon op de verschillende pathogenen wordt zo duidelijk. Aan de hand van deze onderzoeken kan bepaald worden of het toepassen van ozon wel of geen meerwaarde kan hebben in de bewaring van aardappelen.

5.1 Resultaten phytophthora onderzoek

In het eerste onderzoek is onderzocht of ozon effect had op phytophthora. Dit onderzoek vond plaats met behulp van 30 monsters met elk 50 knollen. Deze knollen zijn kunstmatig geïnfecteerd op 23 september met een agressief phytophthora isolaat. De resultaten zijn op drie verschillende momenten bekeken; op 7 oktober, 31 januari en 11 april.

Het onderzoek heeft op twee verschillende manieren ozon toegepast. Als eerste vond er een ozon behandeling plaats op de transportband met een hoge concentratie ozon van tussen de 400 tot 600 ppm. In de ozonbewaring werd er gebruik gemaakt van een ozon concentratie van 0,5 ppm tot 15 december en werd vervolgens verhoogd tot 1 ppm, dit vond plaats tot 10 april.

Uit de resultaten bleek dat enkel de inschuurbehandeling een beperkt effect heeft gehad, maar is dit niet statistisch betrouwbaar. Het effect van ozon tijdens de bewaring is gecontroleerd op twee verschillende tijdstippen. De eerste vond plaats op 31 januari. Hieruit bleek dat er geen sterke toename heeft plaats gevonden in zowel de behandelde partij als de onbehandelde partij. Per object varieerde de toename van 0,7 tot 2,0 procent. Hieruit werd geconcludeerd dat de behandeling van oktober tot januari geen effect heeft gehad op de uitbreiding van phytophthora. Op 11 april zijn deze monsters weer beoordeeld en hieruit kwam naar voren dat er geen uitbreiding van phytophthora heeft plaats gevonden. In deze proef werd gebruik gemaakt van een agressief phytophthora isolaat. Het is mogelijk dat ozon niet bestand is tegen deze isolaat. Verder kan het zijn dat ozon niet bij de schimmel kon geraken (Bus & Veerman, 2007).

Ander onderzoek deelt de conclusie met het eerder behandelde onderzoek. Uit proeven met beschadigde en inoculeerde knollen met phytophthora, over een periode van 21 dagen met verschillende oplopende concentraties tot 20 mg O₃/kg/uur, bleek dat ozon geen positief resultaat gaf (Waterer, Thomson, & Spencer, 2003). Wel kwam naar voren dat het myceliumgroei bij phytophthora geremd werd. Op de sporulatie had ozon echter geen effect, waardoor de verspreiding van de schimmel niet gestopt werd.

Dat ozon is staat is om de myceliumgroei te remmen wordt bevestigd door Amerikaans onderzoek tijdens groeiseizoen 2010/2011 en 2011-2012. Het onderzoek maakte gebruik van 10 ppm ozon. Van de behandelde knollen was 83% besmet met phytophthora terwijl 99% van de onbehandelde knollen besmet was. Dit onderzoek bevestigt, in tegenstelling van het eerder besproken onderzoek, dat ozon is staat is om uitbreiding van phytophthora tegen te gaan. In de beide afbeeldingen hieronder is te zien wat de verschillen zijn tussen niet inoculeerde knollen, geïnoculeerde knollen (met *Phytophthora infestans*) zonder ozon en geïnoculeerde knollen met ozon (Jordan, Webster, & Gevens, 2013).



Figuur 6. Linker knol; controle, middelste knol; geïnoculeerd zonder behandeling, rechter knol; geïnoculeerd met ozon behandeling (Jordan, Webster, & Gevens, 2013).

Naast *Phytophthora infestans* heeft dit onderzoek ook het effect van ozon op roodrot bekeken. Roodrot wordt veroorzaakt door *Phytophthora erythroseptica* en is een echte bewaarziekte. De resultaten waren vergelijkbaar met de resultaten van *Phytophthora infestans*. Ozon was in staat om significant de roodrot infectie te onderdrukken. In 2011 was 30% van de behandelde knollen besmet met *Phytophthora erythroseptica*, terwijl 43% van de controle besmet was. Het jaar daarop was 22% van de behandelde knollen besmet, tegenover 40% van de controle. Hieruit werd geconcludeerd dat ozon in staat was om *Phytophthora infestans* en *Phytophthora erythroseptica* te onderdrukken. Wel werd opgemerkt dat alle andere, chemische, middelen betere resultaten hadden opgeleverd dan de ozon toepassing. In de volgende afbeelding zijn de verschillen te zien tussen de controle, de geïnoculeerde knollen zonder ozon toepassing en de geïnoculeerde knollen met ozon behandeling (Jordan, Webster, & Gevens, 2013).



Figuur 7. Linker knol; controle, middelste knol; geïnoculeerd zonder behandeling, rechter knol; geïnoculeerd met ozon behandeling (Jordan, Webster, & Gevens, 2013)

5.2 Resultaten fusarium onderzoek

Uit meerjarig Canadees onderzoek kwam naar voren dat een ozon behandeling met een hoge concentratie tijdens het inschuren niet resulteerde in een afname van Fusarium. Ook een lage concentratie van 2-4 ppm in de bewaring had geen positief effect. Het onderzoek verwijt dit aan het feit, dat ozon voornamelijk oppervlakkige infecties aanpakt en geen infecties in de knol kan reduceren. Fusarium sporen zullen in kleine verwondingen kiemen. Dit proces vindt plaats in minder dan 12 uur en daarna is het niet meer mogelijk voor ozon om bij de schimmel te komen. Dit onderzoek komt tot de conclusie, dat een ozon behandeling in de bewaring een beperkt tot geen effect heeft op Fusarium. Tijdens deze proef kwam naar voren dat de behandelde aardappelen met ozon een gewichtsverlies hadden gekregen van 4%. Deze bron vermeldt de mogelijkheid om een ozon behandeling eerder uit te laten voeren, in combinatie met hogere concentraties. De Fusarium aantasting is op dat moment erg jong en oppervlakkig. Naast deze proef werd er ook onderzocht of ozon het mycelial van fusarium kon onderdrukken. Dit werd gedaan onder gecontroleerde omstandigheden. Ondanks dat de ozon concentratie in deze proef niet gemeten kon worden, werd geconcludeerd dat er weinig potentieel is om de negatieve groei te onderdrukken met behulp van ozon. (Waterer, Thomson, & Spencer, 2003).

5.3 Resultaten rhizoctonia onderzoek

Uit onderzoek blijkt dat ozon weinig tot geen effect heeft op het bestrijden van rhizoctonia. Dit was voor de onderzoekers geen onverwacht resultaat. Rhizoctonia is namelijk een langzaam groeiende schimmel die zeer tolerant is tegen vormen van stress. Naast de bestrijding van rhizoctonia is ook gekeken of het mogelijk zou zijn om de vitaliteit van rhizoctonia te verminderen. Hieruit kwam naar voren dat rhizoctonia resistenter wordt na mate de schimmel toeneemt in formaat, dikte en de aanwezigheid van pigment in de celwand. De sclerotiën van rhizoctonia zijn groot, sterk en met een structuur van zwart pigment zijn deze moeilijk te bestrijden, waardoor een ozon behandeling weinig effect heeft op de vitaliteit van de schimmel. Bij deze proef is gebruik gemaakt van drie verschillende behandelingen. Allereerst de controle, gewassen in combinatie met ozon en ongewassen in combinatie met ozon. Op deze manier werd uitgesloten dat aanhangende grond deze proef kon beïnvloeden (Waterer, Thomson, & Spencer, 2003).

Ook Nederlands onderzoek bevestigt deze conclusie. Uit onderzoek blijkt dat ozon geen verlaging van de rhizoctonia heeft opgeleverd. Dit onderzoek kwam tot de conclusie dat Moncereen, een chemisch gewasbeschermingsmiddel, zowel een positief effect had op opbrengst, aantal stengels en op de bestrijding van rhizoctonia. Tussen de onbehandelde knollen en behandelde knollen waren wel verschillen te zien in aantastingen maar deze verschillen waren niet significant. Ook een langere behandelingsduur had geen positief effect. Deze proef maakte gebruik van concentraties van 65 ppm tot 85 ppm en hoger (Bosch, Reintke, & Werkman, 2009).

5.4 Resultaten zilverschurft onderzoek

Om te zorgen dat de omstandigheden gunstig waren voor de zilverschurft bacteriën werden de monsters bewaard in een vochtige bewaarcel met een temperatuur van 18 graden Celsius. De monsters werden op drie verschillende momenten beoordeeld. Het eerste moment vond plaats op 21 november, de inschuurbehandeling met hoge concentratie had plaats gevonden op 23 september. Uit de eerste beoordeling blijkt de bedekking van zilverschurft op alle knollen erg laag. De onbehandelde partij had een bedekking van 1,3%, terwijl de behandelde partij een bedekking had van 0,4%. Dit duidt op een terugdringing van zilverschurft door ozon, maar dit is niet statistisch betrouwbaar. Eind januari zijn deze objecten nogmaals beoordeeld. Het eerste object lag opgeslagen in een bewaarcel waarvan de RV laag werd gehouden, waarbij de monsters in kuubskisten waren opgeslagen. Het tweede object lag opgeslagen in een ruimte waarvan de RV hoog werd gehouden, zodat de omstandigheden gunstiger waren voor zilverschurft. De poters lagen overigens in zakjes in poterbakjes los van elkaar. Dit leidde tot een lagere bedekking, maar ook hier was geen significant verschil tussen zowel behandeld als onbehandeld. Dezelfde objecten zijn op 25 april weer gecontroleerd, ook hier kwamen dezelfde resultaten naar voren. Namelijk dat de bewaring van monsters in kuubskisten de ontwikkeling van zilverschurft meer heeft bevorderd dan de bewaring van monsters in kunstofzakjes in poterbakjes.

Bij het uitschuren van de knollen vond er nog een ozon behandeling plaats. Na deze behandeling zijn de zilverschurftsporen van de knollen afgespoeld om te controleren op mogelijke afwijkingen. Naast de normaal uitzijende sporen, waren er sporen aanwezig die ingedeukt zijn en daarnaast waren er sporen waarvan de tussenschotjes ontbreken waardoor deze sporen leeg leken. Ondanks deze observatie waren er geen duidelijke verschillen tussen de objecten. Hieruit werd geconcludeerd dat ozon de sporulatie niet heeft kunnen beperken (Bus & Veerman, 2007).

Ook ander onderzoek heeft het effect van een hoge ozon dosering tijdens het inschuren onderzocht. Omdat de aardappelen op het veld geïnfecteerd raken met de schimmel werd verwacht dat een hoge dosering bij het inschuren deze sporen zou vernietigen waardoor een latere besmetting niet meer mogelijk zou zijn. Deze verwachting werd echter niet waar gemaakt. De hoge ozon dosering heeft het aantal besmettingen van zilverschurft niet kunnen terugdringen (Waterer, Thomson, & Spencer, 2003).

Ondanks deze resultaten, zijn er gevallen bekend waarbij ozon de verspreiding van zilverschurft in de bewaring heeft kunnen onderdrukken. Dit werd toegeschreven aan het feit dat zilverschurft in staat is om in de bewaring te vermeerderen en zich te verspreiden. Door deze oppervlakkige infecties zou ozon in staat moeten zijn om bij de knollen te komen. Om dit resultaat te bereiken werd er continue ozon aan de bewaring toegevoegd van verschillende waardes; 0, 10 en 20 mg O₃/kg/hr (Spencer, 2003).

Naast het toepassen van ozon in de gasvormige vorm, is er ook geprobeerd om knollen te behandelen met geozoniseerd water. Deze methode gaf verschillende resultaten. In het eerste jaar (2006) kwam naar voren dat ozon een positief effect had op de zilverschurft aantasting. In het daaropvolgende jaar werd dit resultaat echter niet behaald. In 2007 bleek echter dat het behandelde object meer aangetast was. Door deze resultaten kwam geen eenduidige conclusie naar voren (Bosch, Reintke, & Werkman, 2009).

5.5 Resultaten Erwinia

Erwinia is de enige bacterieziekte waar onderzoek naar gedaan is met behulp van ozon. Het eerste onderzoek bestaat uit een praktijkproef en een proef met behulp van voedingsbodems. Bij de praktijkproef werd geconcludeerd dat kort na de behandeling met ozon van met Erwinia chrysanthemi besmette knollen, leidde tot betrouwbaar minder rotte knollen. Van de behandelde knollen was gemiddeld 18% rot, bij de onbehandelde was deze 35%. Later in het seizoen was er geen verschil tussen de objecten die met Erwinia chrysanthemi besmet waren. Dit houdt in dat er geen uitspraak gedaan kan worden over het effect van ozon. Het object dat besmet was met Erwinia carotovora subsp. atroseptica was het aantal positieve reacties gedaald. Het lijkt erop dat ozon deze besmetting beperkt heeft. De verschillen zijn echter niet betrouwbaar.

Met behulp van voedingsbodems kon het effect van ozon op verschillende Erwinia stammen en soorten getoetst worden. Hieruit kwamen betrouwbare verschillen in doding tussen de Erwinia-stammen naar voren. Bij Erwinia chrysanthemi vond meer doding plaats dan bij de andere Erwinia-soorten. Het gemiddelde dodingspercentage was overigens met 4,6% erg laag. Naast deze ozon proef heeft er ook een proef plaats gevonden in combinatie met UV licht. Dit leidde tot een positief, maar ook een teleurstellend resultaat. Na 4 uur behandelen lag de gemiddelde doding op 13%, dit was bereikt door een hoge ozon concentratie van 400 ppm. De onderzoekers vermelden dat dit onderzoek niet duidelijk aangaf of een korte hoge dosering tot een beter resultaat leidt dan een langdurige lage dosering of dat een combinatie noodzakelijk is (Bus & Veerman, 2007).

5.6 Ozon in combinatie met negatieve luchtionen

Ondanks deze matige resultaten zijn er andere onderzoeken bekend, die gekeken hebben naar de mogelijkheid om ozon te combineren met negatieve luchtionen. Negatieve luchtionen ontstaan door lucht te ioniseren. Elektronen zullen zich hechten aan zuurstofmoleculen. Deze negatieve luchtionen hebben een bacteriostatische werking, dit houdt in dat ze geen bacteriën doden maar beletten de vermenigvuldiging. Dit onderzoek kwam tot de conclusie dat er een sterke synergie is tussen ozon en de negatieve luchtionen. Het effect op verschillende soorten bacteriën varieert echter. Er is onderzocht wat het effect was op Erwinia carotovora subs. carotovora. Enkel de ozon behandeling resulteerde in afname van de vitale cellen tot 69%. De gecombineerde toepassing resulteerde in een afname van de vitale cellen tot 4%. Beide objecten hadden een 6 uur lange behandeling ondergaan (Fan, Song, Hildebrand, & Forney, 2002).

5.7 Ozon effect op de aardappel

Ozon gaat niet specifiek te werk. Het gaat een reactie aan met organische materialen, zoals schimmels, bacteriën en ook planten. Ook het in het veld komt ozonschade voor. Deze necrotische vlekken op het blad wordt vaak verward met een *Alternaria solani* aantasting. De schade die de Nederlandse landbouw oploopt wordt geschat op meer dan 100 miljoen euro per jaar (HLB BV, 2013).

Om te bepalen of ozon schade aanricht aan pootgoed en de kieming hiervan, is er gekeken naar het gewicht van de kiemen, naar het gewichtsverlies van de knollen en het aantal goed uitziende kiemen en kiemen met zwarte punten. Hieruit is geconcludeerd dat ozon geen negatieve effecten heeft op de vitaliteit van het pootgoed. Ook de hoge korte dosering op de transportband heeft geen negatief resultaat opgeleverd (Bus & Veerman, 2007). De concentraties die bij deze proef gebruikt zijn, lagen bij het inschuren tussen de 400 en 600 ppm en in de bewaring 0,5 ppm tot december en daarna 1 ppm. Mochten deze waardes verhoogd worden, dan wordt de kans op schade groter. Hoe hoog deze schadedrempel ligt, is niet bekend.

Het behandelen van pootgoed voor het poten gaf niet het gewenste resultaat. Door knollen te behandelen met twee verschillende concentraties, 20mg/kg/hr en 200 mg/kg/hr ozon, kon dit resultaat vergeleken worden met fungiciden. Als resultaat kwam naar voren dat ozon in 1999 en 2001 hetzelfde resultaat opleverde als de fungiciden. In 2000 en 2002 bleek echter dat ozon een negatief effect had op de opkomst. De onderzoekers claimen dat dit komt, omdat ozon geen residu achter laat. Chemische middelen hebben na het tijdstip van toepassing, nawerking waardoor de pootaardappel beschermd is. Omdat ozon dit niet doet resulteerde dit in sommige jaren in een slechtere opkomst met lagere opbrengsten tot gevolg (Waterer, Thomson, & Spencer, 2003).

Het wondhelingsproces zorgt ervoor dat aardappelen na het rooien, beschadigingen kunnen repareren waardoor schimmels en bacteriën niet de kans krijgen om binnen te dringen en om vocht verlies te voorkomen. De beschadigingen zullen onder warmere omstandigheden (15 à 16 graden) verkurken waardoor ze beschermd zijn (Veerman, 2003). Ozon blijkt deze kurklaag significant dunner te maken. Vanuit het oogpunt van bewaring, lijkt dit een probleem te kunnen vormen. Een dunnere kurklaag kan resulteren in het verschil tussen wél of geen infectie en er kan onnodig veel vocht verloren gaat wat resulteert in bewaarverliezen. De aardappelen die bij deze proef gebruikt zijn, bleken geen last te hebben gehad van deze nadelige gevolgen. Wel moet vermeld worden dat de observatie periode relatief kort is geweest, maar 3 weken.

6. Toepasbaarheid in de bewaring

Dhr. Buiting, werkzaam bij Agrozone, is benaderd om uit te leggen, welke problemen ze tegen komen bij installaties en bewaring waarbij ozongas toegepast wordt.

Agrozone is een Nederlands bedrijf dat ozontechniek toepast in de agrarische sector. Dhr. Buiting vertelde dat er een twee splitsing gemaakt kan worden rondom ozon gebruik. Allereerst kan ozon opgelost worden in water, om dit water te ontsmetten en zuiveren en daarnaast kan het toegepast worden als luchtzuivering in bewaarruimtes. Agrozone heeft veel ervaring met beide toepassingen. Zo wordt ozon toegepast in bewaarruimtes van bijvoorbeeld tulpenbollen of witlofpennen. In de bollensector wordt gebruik gemaakt van waardes tussen de 80 en 100 ppb. Deze natuurlijke waardes komen voor op een zonnige dag, en hiermee is het mogelijk om de sporulatie van *Fusarium*, *Penicillium* en andere schimmels te stoppen. Het afdoden van schimmels zal echter een hogere dosering vragen, dit zal gebeuren rond de 300 tot 500 ppb. In de bewaring van witlofpennen heeft ozon voornamelijk een goede werking tegen kraterrot.

Dhr. Buiting benadrukte het belang van een goede luchtcirculatie in de bewaarruimte. Omdat ozon zwaarder is dan lucht, zal er continue luchtcirculatie moeten zijn om een goede verdeling te krijgen. Mocht hier niet aan voldaan worden, zal dit resulteren in het uitzakken van ozon waardoor er hoge concentraties op de vloer ontstaan. Deze hoge concentraties brengen risico's mee. Zo kan er schade aan het product ontstaan, als de schadedrempel overschreden wordt.

Agrozone heeft zelf ook enkele proeven gedaan met het toepassen van ozon tijdens het inschuren van aardappelen. Hierbij werd gebruik gemaakt van een hoge dosering op de transportband met een korte behandelingsduur. Bij deze proeven kwam geen gewenst resultaat naar voren. Door de korte behandelingsperiode werd aangenomen, dat deze te kort was. Hierdoor kregen de pathogenen even een korte tik. De behandeling was echter niet voldoende om volledige afsterving te realiseren, waardoor de pathogenen in de bewaring de ruimte kreeg om verder te sporuleren. Dit resultaat bevestigt het belang van continue ozon toepassen in de bewaring, om sporulatie alsnog tegen te gaan, zoals gedaan wordt in de witlof en bollen bewaring.

Overigens was Dhr. Buiting enigszins verbaasd over de hoge waardes die gebruikt zijn bij de verschillende onderzoeken. In de besproken onderzoeken werd gebruik gemaakt van ppm's, terwijl Agrozone gebruik maakt van ppb's, een duizend maal kleiner. Dhr. Buiting benadrukte het gevaar van deze hoge waardes, 6 ppm is al gevaarlijk en kan nadelige gevolgen hebben voor de gebruiker.

Omdat aardappelknollen vaak aanhangend klei of zand hebben, kan het aannemelijk zijn dat dit de werking van ozon zou belemmeren. Doordat ozon niet tot staat is om door deze laag heen te dringen, zal deze plek ook dan niet beschermd kunnen worden. Tulpenbollen zijn in de bewaring namelijk veel schoner. Witlofpennen zijn overigens ook vuiler en worden bewaard met een ijslaag, ondanks deze belemmeringen zijn de resultaten in de witlofbewaring wel positief. Dit hoeft overigens niet te betekenen dat dit ook voor aardappelen geldt. Daarnaast kan afgevraagd worden of het mogelijk is om ozon in bulkbewaring toe te passen. Doordat het product volledig tegen elkaar ligt, is het mogelijk dat ozon niet tot staat is om overal goed bij te komen. Dit zal door bijvoorbeeld onderbeluchting van de partij opgelost kunnen worden.

Uit ervaringen blijkt dat ozon natuurlijk rubber aantast, wat gebruikt kan zijn bij de afdichting van inlaat- of uitlaatluiken. Synthetisch rubber is overigens niet gevoelig voor aantasting, waardoor dit een uitstekende vervanger is voor natuurlijk rubber. Theoretisch is het mogelijk, dat ook metalen aangetast kunnen worden door ozon. In de praktijk heeft zich dit nog niet voorgedaan door de lage concentraties. In de generatoren wordt wel volledig gebruik gemaakt van ozon bestendige materialen zoals RVS, teflon en PVC.

7. Belemmeringen/problemen

Het toepassen van ozon in de aardappelbewaring brengt enkele belemmeringen en problemen met zich mee.

- De onderzoeksresultaten zijn weinig positief, dit geldt voor; Phytophthora, Fusarium, Rhizoctonia en zilverschurft.
- De resultaten bij de Erwinia proeven waren positiever, maar niet doorslaggevend waardoor het (nog) niet toepasbaar is in de praktijk.
- Ozon is niet in staat om het product binnen te dringen. Doordat de werking enkel oppervlakkig blijft is de toepasbaarheid en het effect zeer beperkt.
- Ozon laat geen residuen achter, dit is voor de voedselveiligheid een positieve eigenschap. Het probleem is echter dat nawerking ook ontbreekt. Mocht een ozon behandeling niet in staat zijn om alle pathogenen te doden is een nabehandeling, van ozon of een chemisch middel, nodig.
- Ozon tast natuurlijk rubber aan. Dit is overigens goed op te lossen door het gebruik van synthetische rubber.
- Voor een goede verdeling, moet continue intern geventileerd worden. Deze ventilatoren produceren warmte waardoor er vaker gekoeld moet worden. Ook zal de luchtverdeling in de bewaring zo goed mogelijk in orde zijn om ozon zo goed mogelijk te verdelen.
- Hoge concentraties zijn gevaarlijk voor de gezondheid.

8. Conclusie en aanbevelingen

De hoofdvraag kan beantwoord worden met de conclusie die in dit hoofdstuk behandeld zal worden. Daarnaast worden enkele aanbevelingen genoemd. Deze aanbevelingen zijn gebaseerd op zaken die op dit moment nog niet goed genoeg bekend zijn en waar nog onderzoek naar te verrichten is.

8.1 Conclusie

Op basis van het besproken onderzoek kan geconcludeerd worden dat de mogelijkheid van ozon bewaring in de aardappelen zeer beperkt is. De resultaten waren niet doorslaggevend genoeg om ozon bewaring als geschikte bewaarmethode te beschouwen. Ozon zal niet in staat zijn om chemische middelen en bespuitingen uit te besparen. De meerwaarde van het toepassen van ozon in de aardappelbewaring is niet groot genoeg en heeft daarom op dit moment weinig perspectief

8.2 Aanbevelingen

Uit onderzoek blijkt dat ozon versterkt wordt in combinatie met negatieve luchtionen. Tijdens proeven op *Erwinia carotovora subs. Carotovora* zijn goede resultaten behaald. Om meer te weten te komen over het effect op andere bacteriën en schimmels, zal het nodig zijn om hier onderzoek naar te verrichten. Ionisatie komt steeds meer onder de aandacht om toe te passen als bestrijdingsmethode in de aardappelen. Op dit moment verricht HZPC onderzoek naar ionisatie in de aardappelbewaring. Het combineren van negatieve luchtionen en ozon zal misschien betere resultaten opleveren.

In de tuinbouw heeft ozon goede resultaten geleverd als ontsmettingsmiddel van afvalwater. Hierdoor worden schimmels, bacteriën en virussen gedood. Wellicht is het interessant om te kijken of ozon in staat is om bruinrot te doden. Bruinrot is een bacterie die via water verspreid kan worden. Als het mogelijk is om deze bacterie te doden, bestaat de mogelijkheid om oppervlakte water te gebruiken voor het beregen van pootgoed.

9. Bibliografie

- Alink, G. (1986). *Ozon*. Wageningen: Landbouwschool Wageningen.
- Balkhoven-Baart, J., Roelofs, P., & Jong, P. d. (2009). *Bestrijding van vruchtrot en schimmels met ozon en waterstofperoxide*. Randwijk: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- Bosch, R. A., Reintke, J., & Werkman, D. (2009). *Verhogen bedrijfshygiëne door middel van ozon*. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving.
- Brink, L. v., & Versluis, H. (2004). *Perspectieven van ozonbehandelingen ter bestrijding van schadelijke organismen op plantaardig uitgangsmateriaal*. Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- Bus, C. (1996, 07 15). *Teelthandleiding Pootaardappelen*. Opgehaald van Kennisakker: <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-pootaardappelen-ziekten-en-plagen>
- Bus, K., & Veerman, A. (2007). *Toepassing van ozon bij de bewaring van pootaardappelen*. Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- Fan, L., Song, J., Hildebrand, P., & Forney, C. (2002, 6 18). *Interaction of ozone and negative air ions to control micro-organisms*. Opgehaald van Online Library Wiley: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2672.2002.01683.x/full>
- HLB BV. (2013). *HLB toont ozonschade aan*. Opgehaald van HLB research and consultancy in agriculture: <http://www.hlbv.nl/laatste-nieuws-2/401-hlb-toont-ozonschade-aan>
- Infonu. (n.b.). *De ozonlaag: de opbouw*. Opgehaald van Infonu: <http://wetenschap.infonu.nl/sterrenkunde/52967-de-ozonlaag-de-opbouw.html>
- Jong, J. d. (1985). *De teelt van aardappelen*. n.b.: n.b.
- Jordan, S., Webster, B., & Gevens, A. (2013, 2 6). Post-harvest fungicides for management of storage diseases. *n.b.* n.b.
- Lenntech. (n.b., n.b. n.b.). *Ozon data*. Opgehaald van Lenntech: http://www.lenntech.nl/ozon_data.htm
- Lenntech. (n.b., n.b. n.b.). *Toepassingen*. Opgehaald van Lenntech: <http://www.lenntech.nl/industrie/land-en-tuinbouw.htm>
- Mulder, A., & Turkensteen, L. (2008). *Aardappelziektenboek*. Den Haag: Aardappelwereld .
- NuTek International. (1995). *An explanation of ozone and its uses*. Edgewater, Florida: n.b.
- PPO Wageningen. (n.b.). *ZilverSchurft*. Opgehaald van Beeldenbank: <https://wiki.groenkennisnet.nl/display/BEEL/ZilverSchurft>
- PPO Wageningen UR. (n.b.). *Aardappelziekte-aardappel*. Opgehaald van Beeldenbank: <https://wiki.groenkennisnet.nl/display/BEEL/Aardappelziekte+-+aardappel>

PPO Wageningen UR. (n.b.). *Droogrot-aardappel-Fusarium*. Opgehaald van Beeldenbank:
<https://wiki.groenkennisnet.nl/display/BEEL/Droogrot+-+aardappel+-+Fusarium>

PPO Wageningen UR. (n.b.). *Lakschurft*. Opgehaald van Beeldenbank:
<https://wiki.groenkennisnet.nl/display/BEEL/Lakschurft>

PPO Wageningen UR. (n.b.). *Zwartbenigheid en stengelnatrot*. Opgehaald van Beeldenbank:
<https://wiki.groenkennisnet.nl/display/BEEL/Zwartbenigheid+en+stengelnatrot>

Ruijven, T. v. (n.b.). Ozon bezig aan stille wederopstanding in de tuinbouw. *Wageningen UR Glastuinbouw*, 4.

Spencer, R. C. (2003). *Ozone as a post-harvest treatment for potatoes*. Saskatoon: University of Saskatchewan.

Veerman, A. (2003, 09 15). *Teelthandleiding Consumptieaardappelen*. Opgehaald van Kennisakker:
<http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-consumptieaardappelen-ziekten-en-plagen>

Waterer, D., Thomson, J., & Spencer, R. (2003). *Ozone as an Improved Method to Control Disease*. Saskatoon: University of Saskatchewan.

10. Bijlagen

Bijlage 1. Checklist Schriftelijk Rapporteren

Deze bijlage is te vinden op de volgende pagina.