

Utrechtseweg 48
3704 HE Zeist
Postbus 360
3700 AJ Zeist

www.tno.nl

T +31 88 866 60 00
F +31 88 866 87 28

TNO-rapport

TNO 2014 R11222 | Eindrapport

Selectie van kansrijke mitigatietechnieken voor reductie van blootstelling aan endotoxinen in de agro-food industrie

Datum	10 november 2014
Auteur(s)	Annemieke van de Runstraat Anton Duisterwinkel Jeroen Terwoert Suzanne Spaan
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	98 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Frugi Venta, NAO, Plantum
Projectnaam	SMO project Aanpak endotoxinen bij de bron - 'Een schone start'
Projectnummer	060.06240

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2014 TNO

Samenvatting

Het doel van het deelproject 'selectie kansrijke mitigatietechnieken' binnen het project 'Aanpak endotoxinen bij de bron – Een schone start' is het beschrijven van mogelijk kansrijke, effectieve en efficiënte maatregelen om de (persoonlijke) blootstelling aan endotoxinen in bedrijven die agrarische producten verwerken zo dicht mogelijk bij de bron aan te pakken. Met het doel om de persoonlijke blootstelling aan endotoxinen te verminderen tot onder de afgeleide gezondheidkundige advieswaarde van 90 endotoxinen eenheden per kubieke meter (EU/m³) (Gezondheidsraad, 2010). In deze rapportage wordt achtereenvolgens ingegaan op:

- De gewenste reductie van blootstelling aan endotoxinen in de deelnemende sectoren (verwerking van aardappelen, uien en zaden);
- De gemeten endotoxinen-niveaus in productmonsters;
- De mogelijke maatregelen;
- Vervolgstappen die genomen kunnen worden.

Er is gezocht naar effectieve en efficiënte maatregelen. Van de meeste maatregelen kan wel een maximale potentie geschat worden, maar de daadwerkelijke effectiviteit is nog niet bewezen. Daarom is een vervolg wenselijk waarin deze maatregelen verder worden uitgewerkt en getoetst op hun effectiviteit op reductie van blootstelling. Het uitgangspunt is dat bronnen worden weggenomen of, als dat onvoldoende lukt, worden geïsoleerd (bijvoorbeeld door deze af te schermen). Mocht zelfs dat nog onvoldoende werken, dan kunnen organisatorische maatregelen getroffen worden, waardoor minder personeelsleden korter bloot staan aan die bronnen (bijvoorbeeld door schoonmaakwerkzaamheden te plannen na werktijd of de afscheiding van werkzaamheden of het plaatsen van een machine in een aparte ruimte). Tenslotte kan men persoonlijke beschermingsmiddelen gebruiken, maar die zijn in de praktijk vaak veel minder effectief dan in theorie, en gaan vaak ten koste van werkplezier en productiviteit.

In dit project zijn drie verwerkende sectoren betrokken, waarbij dus ook in eerste instantie kansrijke mitigatietechnieken voor deze drie groepen van producten zijn geëvalueerd, namelijk aardappelen, uien en zaden. De resultaten van deze evaluatie worden in dit rapport gepresenteerd. Binnen het project zal de toepasbaarheid van deze mitigatietechnieken in andere agro-food sectoren, en dus voor andere productgroepen, ook worden onderzocht.

AARDAPPELEN

Gewenste reductie van de blootstelling

Uit eerder gepubliceerde metingen in bedrijven die aardappelen sorteren, eventueel wassen, en verpakken blijkt dat, gemiddeld genomen, een reductie van

de blootstelling aan endotoxinen met een *factor 3 tot 5* nodig is om te voldoen aan de geadviseerde grenswaarde van 90 EU/m³. Dit geldt *niet* voor bedrijven waarin de aardappelen tot pulp worden verwerkt. In die bedrijven zijn op sommige afdelingen reducties van meer dan een factor 10 nodig.

Endotoxinen-niveaus op aardappelen, grond- en plantmateriaal, in proceswater en op viltdoek

Er zijn in deze sector drie soorten bronnen van endotoxinen te onderscheiden:

1. *De aardappelen zelf, plus meekomend grond- en plantmateriaal*

- Veruit de hoogste niveaus endotoxinen zijn gemeten in het plantmateriaal, gevolgd door respectievelijk het grondmateriaal en de buitenkant van de aardappel zelf. *Gemiddeld* genomen was de verhouding in het niveau op het plantmateriaal, grondmateriaal en aardappelen 130 : 17 : 1.
- Echter, omdat de *hoeveelheden* plantmateriaal en grondmateriaal veel lager zijn dan de hoeveelheid aardappelen in een binnenkomende partij, is de totale bijdrage aan de hoeveelheid endotoxinen die het bedrijf binnen komt lager: plantmateriaal 47 tot 73%, grond 18 tot 21% en de aardappel zelf 6 tot 35%.
- De niveaus op aardappelen van zandgrond waren hoger dan van kleigrond.

2. *Het proceswater, dat vaak (deels) gerecirculeerd wordt;*

Er zijn soms hoge niveaus endotoxinen in proceswater gemeten, maar dit varieert sterk.

3. *Materialen in het proces die lang vochtig blijven, met name het vilt in viltrogers.*

Er zijn zeer hoge niveaus endotoxinen gemeten in de viltrogers. Dit wordt mede veroorzaakt doordat deze zelden of nooit gereinigd of vervangen worden en dus endotoxinen hier verzamelen. Dit kan leiden tot directe blootstelling van de medewerkers (als zij zich in de omgeving van de viltrogers bevinden), en kan leiden tot 'herbesmetting' van de aardappelen met endotoxinen.

Mogelijke mitigatietechnieken

1. Droge technieken

- a. Tijdens het overstorten van aardappelen het stof en dus endotoxinen verwijderen door blazen (als de aardappelen droog moeten blijven) of afsputten (als ze later gewassen worden). Voor het eerste is een luchtmes mogelijk een effectief middel; voor het tweede het Undine-systeem van IWC. Maximale effect is ongeveer 25% bronbeperking, maar de investering en lopende kosten zijn geringer dan bij de meeste andere maatregelen. Dit moet in de open lucht of een zeer goed geventileerde ruimte plaatsvinden waar geen werknemers in de pluim of nevel staan.
- b. Aardappelen kunnen ook droog worden geborsteld als eerste verwerkingstap. Effect is maximaal ongeveer 25% bronbeperking, investering is beperkt en lopende kosten gering. Ook dit moet in een zeer

goed ventileerde of juist een afgesloten ruimte gebeuren om blootstelling van het personeel tijdens dit proces te voorkomen.

- c. De SmartGrader van Miedema zou de aardappelen kunnen sorteren en plantmateriaal en rotte aardappelen verwijderen. Bij partijen die veel restanten plant- en grondmateriaal en rotte aardappelen bevatten kan het effect oplopen tot 75% bronbeperking, maar de investering is relatief groot.

2. Natte technieken (wassen)

- a. Als de aardappelen gewassen mogen worden, dan is het wenselijk dit zo snel mogelijk is het proces te doen, omdat het een groot effect kan hebben. Om dit wassen effectiever te maken, is de eenvoudigste maatregel om de aardappelen na het wassen na te spoelen met schoon water. Om het watergebruik te beperken, stellen we voor te sproeien, liefst met het Undine-systeem van IWC of een vergelijkbaar systeem dat met een minimum aan water een maximum aan effect bewerkstelligt. Het sproeiwater kan worden toegevoegd aan het proceswater dat wordt hergebruikt. Effect en kosten verdienen nader onderzoek. Het was- en sproeiproces moet wel worden afgeschermd, omdat de druppels en nevel van het proceswater endotoxinen kunnen bevatten.

3. Aanpak viltmateriaal

- a. In plaats van vilt kunnen luchtmessen worden toegepast om de aardappelen te drogen. De luchtafzuiging moet een groter debiet hebben dan de luchtmessen en kan onder de geperforeerde band worden geplaatst. Daarbij het systeem aan de bovenzijde met een doorzichtig materiaal afdekken en ruimte laten voor het lezen van de aardappelen.
- b. Wel vilt gebruiken en dat geautomatiseerd en voortdurend reinigen

4. Aanpak proceswater

- a. In een separaat project wordt onderzocht wat effectieve maatregelen zijn om endotoxinen uit het water te halen. Hier volstaan we met de opmerking dat onder de huidige condities deze mogelijke bron moet worden geïsoleerd van de werknemers, door het òf in een separate ruimte uit te voeren, òf door het te omkassen en daar waar het systeem deels open is de lucht voor zover economisch rendabel af te zuigen.

5. Vergaande afscherming van het productieproces

- a. De drooginstallatie isoleren van het personeel (omkassen van het proces met luchtafzuiging op de openingen of de drooginstallatie in een separate kamer plaatsen), en een aparte leesband toevoegen waar droge aardappelen overheen lopen.

UIEN

Gewenste reductie van de blootstelling

Uit eerder gepubliceerde metingen in bedrijven die uien sorteren en verpakken blijkt dat de blootstelling aan endotoxinen in deze bedrijven sterk variabel, maar overwegend zeer hoog, is. Een reductie met een factor 100 moet daarom worden

nagestreefd om te kunnen voldoen aan de geadviseerde grenswaarde van 90 EU/m³.

Endotoxinen-niveaus in productmonsters

In deze sector zijn twee soorten bronnen van endotoxinen te onderscheiden:

1. De uien zelf
 - Op de buitenkant van de uien zijn gemiddeld de laagste niveaus endotoxinen gemeten, maar er zijn sterke aanwijzingen dat de vellen wel degelijk een significante bron zijn.
 - Duidelijke verschillen tussen gele, rode en roze uien, en tussen uien van klei- of zandgrond, zijn niet gevonden. Dit laatste mogelijk doordat maar weinig uien van zandgrond bemonsterd zijn.
 - In een aflandse ui - die dus relatief vochtig was - is een extreem hoog niveau gevonden.
2. De 'tarra': grond- en plantmateriaal (incl. staarten), kluiten, en rotte uien
 - Veruit de hoogste endotoxine niveaus zijn gemeten in de staarten, gemiddeld 160 keer meer dan op een schone ui. Hierbij werden bij rode uien nog iets hogere niveaus gevonden dan bij gele uien.
 - Ook in het grondmateriaal en in rotte uien zijn hoge niveaus gemeten, maar deze waren gemiddeld een factor 3 tot 10 keer lager dan in de staarten.

Mogelijke mitigatietechnieken

1. Gedroogd product aanvoeren en detectie van rotte uien
 - a. Direct na de oogst rotte exemplaren verwijderen en dan vervolgens uien inschuren. Tijdens het droogproces goed ventileren. Hierbij is het wel van belang dat ook tijdens deze werkzaamheden aandacht is voor potentiële blootstelling aan endotoxinen, en de werknemer ook hierbij voldoende wordt beschermd.
2. Direct afstaarten met afscherming
 - a. Na binnenkomst de uien direct afstaarten waarbij de staarten er afgesneden worden om stofvorming te minimaliseren. Afstaarten in een afgesloten ruimte in afwezigheid van medewerkers.
3. Ontvellen (afscherming van restanten van het product)
 - a. De buitenste losse vellen van de ui verwijderen door bijvoorbeeld windziften, borstelen of plakken. De vellen daarna in een gesloten systeem afvoeren.
4. Reinigen van het product
 - a. Desinfectie van de ui zelf is zeer lastig, maar plasma zou hier mogelijk een optie zijn.

ZADEN

Gewenste reductie van de blootstelling

Uit eerder gepubliceerde metingen in bedrijven die zaden verwerken blijkt dat de endotoxinen-niveaus op de te verwerken zaden en de (persoonlijke) blootstelling aan endotoxinen in deze bedrijven *zeer* variabel is. In graszadenverwerking is de blootstelling hoog bij de ontvangst en het schonen, en tijdens het verpakken achterin het verwerkingsproces veel lager. In de verwerking van tuinzaden vindt meer handwerk plaats, waardoor de blootstelling bij sterk 'verontreinigde' zaden hoog kan zijn.

Al met al zou voor graszaad een reductie met ruwweg een *factor 40* moeten worden nagestreefd om te kunnen voldoen aan de geadviseerde grenswaarde van 90 EU/m³, en voor tuinzaden met een factor 10. Echter, in sommige, zoals vruchtzaden, is wellicht geen reductie nodig.

Endotoxinen-niveaus in productmonsters

In deze sector zijn twee soorten bronnen van endotoxinen te onderscheiden:

1. De zaden zelf (voor en na schoning)
 - De zaden die bij de bedrijven binnen komen hebben vaak al een vorm van 'voorschoning' ondergaan, waardoor mogelijk de endotoxinen-niveaus al verlaagd zijn.
 - In landbouwzaden (graszaden) zijn gemiddeld veruit de hoogste concentraties gemeten, gemiddeld 40 keer hoger voor geschoond landbouwzaad ten opzichte van geschoond tuinbouwzaad.
 - Bij landbouwzaden is het niveau in geschoonde zaden *gemiddeld* ruwweg twee keer zo laag als in ongeschoonde zaden.
 - Bij de tuinzaden is de variatie in de niveaus tussen de diverse typen zaden zeer groot. De niveaus op ruwe zaden (bijv. krotten / bieten, prei, spinazie, ui, wortel) zijn *gemiddeld* wel een factor 20 hoger dan die op gladde zaden.
2. Het 'afvalmateriaal' dat uit de schoningsstap(en) komt
 - Voor graszaden zijn de hoogste niveaus endotoxinen gemeten in het afvalmateriaal dat uit de schoning komt. Als dit afvalmateriaal vroeg in het proces verwijderd kan worden, is ruwweg een factor 4 reductie te bereiken.
 - Voor tuinzaden zijn de niveaus ook het hoogst in het afvalmateriaal van de schoning. Bij ruwe zaden blijkt het niveau verschil tussen geschoond en ongeschoond zaad klein, wat zou betekenen dat ruwe zaden lastiger van de endotoxinen te ontdoen zijn door schoning dan gladde zaden.
3. Plantmateriaal
 - Apart plantmateriaal was maar voor enkele typen zaden beschikbaar en is ook maar voor enkele typen zaden relevant.
 - Voor tuinzaden waarvoor plantmateriaal beschikbaar was, zijn de op één na hoogste niveaus endotoxinen gemeten in het plantmateriaal.

Mogelijke mitigatietechnieken

1. Grote schoningsstap bij binnenkomst met afgeschermd productstromen
 - a. Tijdens of direct na het dorsen al een schoningsstap (naschoning) toepassen, als voorschoningsstap voordat een partij zaden bij een verwerkend bedrijf binnenkomt.
 - b. Voor grote partijen zoals bij landbouwzaden zou dit het best kunnen door gebruik te maken van een volledig afgesloten automatisch systeem. Schoning kan dan plaatsvinden op basis van soortelijk gewicht, zoals met een elutriator, windzifter of een apparaat gebaseerd op een Nautamenger.
 - c. Voor kleinere partijen zoals bij tuinbouwzaden, is er waarschijnlijk al een stap te maken door in een gesloten systeem een bestaande schoningstechniek toe te passen waarbij veel afval wordt verwijderd. Als nieuwe techniek zou een klein type Nautamenger een mogelijkheid zijn.
2. Afscherming van contact met het product bij verdere verwerking
 - a. Alle verwerkings- en schoningstappen uitvoeren met minimaal contact met de medewerker zoals door gesloten systemen, ventilatie en/of dragen persoonlijke beschermingsmiddelen
3. Reinigen van het product
 - a. De mogelijkheden voor desinfectie van de zaden is beperkt. Wellicht kan plasma, maar er is een reëel risico voor verlies van kiemkracht. Voor waardevolle zaden komt fysische desinfectie nog in aanmerking.
4. Inkapselen
 - a. Na schoning kan inkapselen verdere blootstelling reduceren.

Het feit dat er relatief weinig concrete nieuwe oplossingen kunnen worden aangedragen voor zaden komt onder andere doordat er in de huidige situatie al een grote variatie aan schoningstechnieken wordt toegepast. De combinatie van schoningstechnieken hangt af van het soort zaad dat wordt verwerkt, de doorzet/batchgrootte en de kwaliteit van de binnenkomende partij. In combinatie met het feit dat er (zeker in geval van tuinzaad) soms kleine batches worden verwerkt, is het lastig om algemeen toepasbare nieuwe kansrijke technieken te identificeren. De verwachting is echter wel dat er een grote hoeveelheid kennis met betrekking tot (de praktische toepasbaarheid van) verschillende schoningstechnieken voorhanden is bij de huidige leveranciers van schoningsmachines, en dat de oplossing wellicht eerder kan worden gevonden in optimalisatie van deze schoningstechnieken, waarbij naast productkwaliteit ook de veiligheid/gezondheid van de werknemers wordt meegenomen. Parameters hierbij zijn bijvoorbeeld toegepaste volgorde en kleine aanpassingen aan de bestaande systemen.

Het idee is dan ook om *contact op te nemen met een aantal leveranciers van schoningsmachines* om ideeën qua oplossingen uit te wisselen. Met als vervolgstap om naar de effectiviteit te kijken van diverse technieken in de reductie van

blootstelling aan endotoxinen. Daarbij is de verwachting dat de grootste klap gemaakt kan worden bij de verwerking van de landbouwzaden. Dit betreft namelijk vooral bulkverwerkingen waarbij zeer hoge niveaus endotoxinen werden aangetroffen. Uitdaging voor daadwerkelijke invoer van nieuwe methoden zijn de hoogte en timing van de benodigde investeringen. Afhankelijk van de prioriteit die gegeven wordt aan de verschillende opties, zal een keuze gemaakt moeten worden uit de leveranciers die betrokken gaan worden bij een eventuele vervolgfase. Dit zal in nauw overleg tussen TNO en de sector gebeuren.

ALGEMENE MITIGATIETECHNIKEN (SECTOR-OVERSTIJGEND)

1. Monitoring (sensor): Factoren als het weer, de grondsoort en productieproces hebben invloed op de endotoxinen-niveaus. Het is daarom verstandig om regelmatig en voor diverse productieprocessen deze niveaus te meten. Maar dat is op dit moment een omslachtige klus die enkele dagen vergt. De LoneStar van Owlstone kan rot en ziekte in aardappelen ter plekke en direct detecteren door stoffen in de lucht te meten die bacteriën uitscheiden. Dat is sowieso nuttige informatie voor een aardappel-verwerker. Onze aanbeveling is na te gaan of het mogelijk is om met dit instrument (na aanpassing) ook endotoxinen in lucht te bepalen, waardoor deze techniek breder inzetbaar zou zijn, en bijvoorbeeld zou kunnen worden gebruikt om de kwaliteit van een binnenkomende partij te bepalen.
2. Verantwoord omgaan met afvalstromen: Ook afvalstromen (zoals afgezogen lucht, afvalmateriaal uit schoningsstappen bij zaden, grondmateriaal, uienvellen, proceswater) zijn een bron van blootstelling en dus zullen medewerkers ook van deze bronnen afgeschermd moeten worden.
3. Afgezogen lucht reinigen (ontdoen van stof en mogelijk endotoxinen): Als er afgezogen wordt, bevat de lucht naar verwachting 60 tot 10.000 EU/m³. De Gezondheidsraad heeft recent geadviseerd dat voor de omwonenden het niveau in de lucht niet hoger mag zijn dan 30 EU/m³. Directe uitstoot via een schoorsteen is dus in principe niet toegestaan, behalve als er binnen een straal van 250 meter geen bewoners zijn. Zijn die er wel, dan is luchtreiniging nodig. Een oplossing daarvoor is een cycloon die alle deeltjes van 2 micrometer of groter goed verwijderd. Mocht dit niet toereikend zijn, dan kan als additioneel een elektrostatische filter worden toegepast.
4. Productieruimte en machines reinigen: We adviseren, ook om verspreiding van ziekten te voorkomen, een regelmatige en grondige reiniging van de fabriekshal en de installaties daarin. Hierbij hebben de volgende methoden de voorkeur: 1) stofzuigen met een stofzuiger die voorzien is van een geschikt filter, 2) schrobzuigmachines, en 3) handmatig klamvochtig of nat afnemen. Hierna kan eventueel een hogedrukspuit worden gebruikt om hardnekkiger vuil te verwijderen. Vegen, blazen met perslucht en gebruik maken van een hogedrukspuit worden afgeraden, omdat hiermee stof en endotoxinen (weer) in de lucht worden gebracht. Tijdens schoonmaken, en ook tijdens onderhoud,

wordt aanbevolen dat het personeel persoonlijke bescherming draagt, met name een mondkap met deeltjesfilter, om blootstelling te beperken.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Naast de algemene adviezen met betrekking tot reiniging van productieruimten en de machines en aandacht voor de filtering van afgezogen lucht als onderdeel van de luchtbehandeling, kan een deel van de adviezen zoals beschreven in deze rapportage worden opgepakt door de bedrijven zelf, deels in samenwerking met de leveranciers van (bestaande) procesapparatuur of van mitigatietechnieken. Hierbij is onder andere van belang dat een 'schone' werkplek onderdeel wordt van het eisenpakket van machines, en leveranciers hier ook op bevestigd worden. Hetzelfde geldt voor de (aantoonbare) effectiviteit van beheersmaatregelen. Verdere inbreng van TNO, eventueel in samenwerking met andere (onderzoeks)instituten, wordt waardevol geacht in geval van twee typen van vervolgvactiteiten. Deze vervolgvactiteiten betreffen 1) het bepalen van de effectiviteit van bestaande technieken, en 2) mogelijkheden op het gebied van technologische innovaties.

Van de meeste bestaande en deels ook al toegepaste technieken is de effectiviteit met betrekking tot reductie van blootstelling in de praktijk nooit (goed) onderzocht. Voordat op grote schaal wordt geïnvesteerd in de aanpak en implementatie van een bepaalde techniek, is het wenselijk om de bijdrage van deze technieken aan de benodigde reductie in de blootstelling te bepalen, en ook de *relatieve* bijdrage van de diverse technieken ten opzichte van elkaar. Hiertoe kunnen effectiviteitsstudies worden uitgevoerd. Naast effectiviteitsmetingen kan TNO het inpassen van technieken in het verwerkingsproces ook ondersteunen door het inzetten van specifieke expertise met betrekking tot implementatieprocessen, waarin zowel de techniek, de mens en de organisatie, en hun onderlinge samenhang, een rol spelen.

Viltdeuk blijkt veel endotoxinen te bevatten. Een alternatief is het drogen met behulp van een luchtmes. In principe bestaat deze techniek al, en deze wordt al toegepast in andere sectoren. Wel zou een aanpassing nodig met betrekking tot de schaal van het proces in aardappelverwerkende bedrijven, en het ontwerp van de processen en installaties in deze sector. Een andere optie is de ontwikkeling van een installatie voor het continu circuleren en reinigen van het viltdeuk.

Hoewel detectie van (de aanwezigheid van) endotoxinen op zichzelf uiteraard geen reductie in blootstelling oplevert, kan een dergelijk detectiesysteem wel bijdragen aan het snel zichtbaar maken van probleemgevallen (bijvoorbeeld sterk vervuilde partijen product), en daarmee 'voorkomen dat de hoogste mate van beheersmaatregelen te allen tijde ingezet wordt, in plaats van alleen als het nodig is. Daarbij is het wel nodig dat bedrijven daadwerkelijk actie ondernemen bij het

aantreffen van hoge endotoxineniveaus, bijvoorbeeld door het tijdelijk gebruiken van persoonlijke beschermingsmiddelen, of het weigeren van partijen product met zeer hoge endotoxineniveaus. Groot voordeel van de ontwikkeling van een snelle sensor is dat deze breed zou kunnen worden ingezet in allerlei sectoren. De voorkeur gaat uit naar een methode die snel en direct op de meetlocatie informatie geeft. Echter, een snelle(re) niet-directe methode waar nog analyse stappen voor nodig zijn maar die dan ter plekke bij de bedrijven uitgevoerd kunnen worden ook al een stap in de goede richting is.

Tijdens het project is een lijst met leveranciers van de diverse systemen opgesteld. Afhankelijk van de prioriteit die wordt gegeven aan de verschillende opties zal in nauw overleg met de sectoren worden gekeken welke leveranciers betrokken (kunnen) gaan worden bij een eventuele volgende fase.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
1 Inleiding.....	13
1.1 Achtergrond van het project	13
1.2 Blootstelling aan endotoxinen in de agro-foodsectoren.....	14
1.3 Doel van het project	14
1.4 Selectie van mitigatietechnieken	15
2 Methode.....	16
2.1 Mogelijke maatregelen en bijbehorende eisen	16
2.2 Gehanteerde methode.....	17
2.3 Gerelateerde TNO-projecten.....	18
3 Mitigatietechnieken aardappelverwerkende industrie	20
3.1 Gemeten (persoonlijke) blootstelling.....	20
3.2 Bronnen van endotoxinen	21
3.2.1 Endotoxinen-niveaus op aangevoerde aardappelen en meekomend materiaal....	23
3.2.2 Endotoxinen in en op vilt.....	26
3.3 Mogelijke maatregelen.....	26
3.3.1 Droge technieken	26
3.3.2 Wassen (natte technieken)	30
3.3.3 Desinfecteren	34
3.3.4 Viltmateriaal	37
3.3.5 Drogen zonder vilt	37
3.3.6 Inkapselen van het product.....	40
3.3.7 Verregaande afscherming van het productieproces	41
3.4 Samenvatting selectie mitigatietechnieken aardappelen	41
4 Mitigatietechnieken uienverwerkende industrie	44
4.1 Gemeten (persoonlijke) blootstelling.....	44
4.2 Gevonden endotoxinen-niveaus in en op uien	45
4.3 Mogelijke maatregelen.....	50
4.3.1 Gedroogd product aanvoeren en detectie van rotte uien	50
4.3.2 Direct afstaarten met afscherming	51
4.3.3 Grondverwijdering.....	53
4.3.4 Afscherming van restanten van het product: ontvellen	53
4.3.5 Reinigen van het product (verwijderen of onschadelijk maken endotoxinen)	56
4.3.6 Vergaande afscherming van het product	58
4.4 Samenvatting selectie mitigatietechnieken uien	59
5 Mitigatietechnieken zaadverwerkende industrie.....	62
5.1 Gemeten (persoonlijke) blootstelling.....	62

5.2	Gevonden endotoxinen-niveaus in en op zaden.....	65
5.3	Mogelijke maatregelen.....	72
5.3.1	Schonen, verwijderen van los afval.....	72
5.3.2	Afscherming van het product bij verdere verwerking.....	74
5.3.3	Afscherming van het afval bij verdere afvoer	75
5.3.4	Reinigen van het product (verwijderen of onschadelijk maken endotoxinen)	75
5.4	Trade-off mitigatietechnieken samengevat	76
6	Sector-overstijgende mitigatietechnieken.....	79
6.1	Lucht reinigen.....	79
6.1.1	Stof	79
6.1.2	Endotoxinen	80
6.1.3	Onschadelijk maken endotoxinen in gefilterde lucht	81
6.1.4	Lucht filteren	81
6.2	Reinigen en desinfecteren van productieruimtes en machines.....	83
6.3	Verantwoord omgaan met afvalstromen.....	84
6.4	Monitoring (sensor).....	85
7	Conclusie en aanbevelingen	87
7.1	Meest interessante vervolgactiviteiten.....	90
	Ondertekening.....	93
	Dankbetuiging.....	94
	Literatuur.....	95

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van het project

Tijdens de verwerking van de producten in bedrijven in de agrofood-sectoren worden werknemers op grote schaal blootgesteld aan 'organisch stof'. Dit organische stof bestaat uit materiaal van plantaardige, dierlijke en microbiologische oorsprong. Inademing van organisch stof, ook in waternevels, kan leiden tot verschillende problemen met de gezondheid die worden veroorzaakt door specifieke deeltjes in dit stof, zoals endotoxinen.

Endotoxinen zijn een onderdeel van de celwand van Gram-negatieve bacteriën, welke bijna altijd aanwezig zijn in zogenaamd organisch stof. Endotoxinen zijn meetbaar indien bacteriële groei is opgetreden en komen vrij wanneer de cel sterft. Endotoxinen bestaan uit lipopolysacchariden (LPS). Het lipide-deel (lipide A) is verantwoordelijk voor het grootste deel van de toxische kenmerken van endotoxinen. Het polysaccharide-deel is verantwoordelijk voor de serologische specificiteit (ofwel: aantoonbare immuunreactie) en maakt ook de oplosbaarheid van het molecuul in water mogelijk.

Endotoxinen kunnen na inademing ontstekingsreacties veroorzaken met griepachtige verschijnselen (rillingen, transpireren, malaise gevoel), respiratoire klachten (droge hoest), en acute en chronische longfunctieveranderingen (indicatief voor chronische bronchitis) als gevolg. Deze effecten zijn waargenomen in onderzoek bij vrijwilligers die zuiver endotoxinen of endotoxine-houdend stof inademen en bij werknemers met een hoge beroepsmatige endotoxinenblootstelling. Onderzoek onder personen met astma heeft aangetoond dat lichamelijke effecten optreden (o.a. klachten, longfunctieveranderingen) bij lagere endotoxinen-niveaus dan proefpersonen zonder astma. In onderzoek bij werknemers van mengvoederbedrijven en varkenshouders is aangetoond dat hun longfunctie versneld afneemt, wat wijst op een verhoogd risico op chronische bronchitis. Op basis van onder andere deze informatie is door de Gezondheidsraad een gezondheidkundige advieswaarde van 90 endotoxinen units (EU)/m³ afgeleid (Gezondheidsraad, 2010).

De geobserveerde gezondheidsklachten kunnen resulteren in productieverlaging, afname van de motivatie, ziekteverzuim, en in ernstige gevallen arbeidsongeschiktheid. Een significante groep werknemers, naar schatting 350.000 in Nederland, wordt (potentieel) blootgesteld (Spaan et al., 2011). Klachten aan de luchtwegen zijn dan ook een belangrijke oorzaak van ziekteverzuim in de agrofood-sectoren. Dit bedreigt niet alleen de gezondheid van de medewerkers, maar ook het voortbestaan van de bedrijven. Momenteel lijkt de blootstelling onbeheersbaar ondanks het feit dat bedrijven in de agrofood-sectoren al veel maatregelen hebben genomen. Veel bedrijven aarzelen om verder in maatregelen te investeren, aangezien het effect, en daarmee ook de kosteneffectiviteit, onzeker is. Hier komt nog bij dat in de meeste bedrijven op zéér veel punten in het proces (organisch) stof, en dus mogelijk endotoxinen, vrijkomt, en dus het risico op

blootstelling ontstaat. Aanpak van alle emissiepunten lijkt daarom alleen mogelijk tegen hoge investeringen.

1.2 Blootstelling aan endotoxinen in de agro-foodsectoren

In Nederland liggen de huidige persoonlijke blootstellingen in de agro-foodsectoren een factor 10-1000 maal hoger dan de vastgestelde gezondheidkundige advieswaarde van 90 EU/m³ (Gezondheidsraad, 2010). Soortgelijke niveaus worden ook in andere landen aangetroffen (Spaan, 2008). Dit ondanks dat bedrijven in de agrofood-sectoren al veel maatregelen hebben genomen, zoals bronafzuiging, ventilatie, inkapseling, en stofmaskers. De variabiliteit in de gemeten persoonlijke blootstellingen in de diverse agrofood-sectoren is groot, en de oorzaak van deze grote spreiding is lastig om eenduidig aan te tonen (Spaan, 2008; Smit, 2008a). Er zijn waarden gemeten beneden de grenswaarde van 90 EU/m³, maar ook boven de 100.000 EU/m³. Deze variatie is te zien tussen de agrarische sectoren onderling, maar ook binnen één sector. De meeste studies bevatten te weinig contextuele informatie of zijn te 'grof' opgezet om een goed inzicht te krijgen in de factoren die het meest van invloed zijn op de hoogte van blootstelling. Daarbij is de variëteit aan producten, bedrijfstypen en omstandigheden zo groot, dat het vrijwel onmogelijk is om relaties te kunnen leggen tussen de diverse parameters en de resulterende blootstelling. In een Position Paper stelt de sector zelf vast: "Er is nog onvoldoende zicht op de factoren die de hoogte van endotoxine blootstelling beïnvloeden" (Stof? Pak 't aan!, 2011).

1.3 Doel van het project

Zowel binnen als buiten Nederland, is er veel aandacht geweest voor blootstelling aan endotoxinen op de werkplek. Dit onderzoek heeft zich voornamelijk gericht op het in kaart brengen van de persoonlijke blootstelling van werknemers zonder hierbij te kijken naar de bron van deze blootstelling, namelijk de "producten" waarmee wordt gewerkt. De sectoren zelf zijn echter vooral op zoek naar antwoord op de vraag waar en hoe het probleem precies ontstaat. En of deze kennis aanknopingspunten biedt om zo vroeg mogelijk in het productieproces een (meer) structurele oplossing te bieden.

Het SMO-project 'Aanpak van endotoxinen bij de bron – een schone start' richt zich op het product zoals dat bij verwerkende bedrijven binnenkomt. Het eerste doel is het ontwikkelen van een methodologie om het niveau endotoxinen op of in producten betrouwbaar te kunnen bepalen, en vervolgens het daadwerkelijk karakteriseren van de bron van endotoxinen in of op het plantaardige product. Het tweede doel is het identificeren van kansrijke mitigatietechnieken. Kansrijke mitigatietechnieken zijn maatregelen die de endotoxinen verwijderen, inkapselen of onschadelijk maken vóórdat het product verder het verwerkingsproces ingaat,

terwijl zij (de kwaliteit van) het product niet beïnvloeden. Op deze manier wordt de hoeveelheid aanwezige endotoxinen op het product verlaagd met behoud van productkwaliteit. De kosten van de maatregelen worden ook in kaart gebracht, omdat deze acceptabel moeten zijn.

1.4 Selectie van mitigatietechnieken

Binnen het project 'Aanpak endotoxinen bij de bron' wordt in WP 3 op basis van de resultaten uit WP 1 (analyse productieprocessen en randvoorwaarden voor toepassen van mitigatietechnieken) en WP 2 (inzicht in de locatie van endotoxinen in of op plantaardige producten, en de mate waarin deze in of op het product 'verankerd' zijn (Spaan et al., 2014)) beoordeeld welke mogelijkheden er zijn met betrekking tot het toepassen van mitigatietechnieken voor het aanpakken van endotoxinen bij de bron (bij binnenkomst van het product). De belangrijkste twee aspecten waar de technieken aan moeten voldoen zijn de effectiviteit van verwijdering van de endotoxinen en het behoud van productwaarde.

2 Methode

De doelstelling van dit onderzoek is het inventariseren van kansrijke maatregelen om de persoonlijke blootstelling aan endotoxinen bij de (industriële) verwerking van aardappelen, uien en zaden te verminderen tot onder de afgeleide gezondheidkundige advieswaarde van 90 EU/m³ (Gezondheidsraad, 2010). De geselecteerde maatregelen zullen in een vervolgonderzoek verder moeten worden uitgewerkt en getoetst op hun daadwerkelijke effectiviteit.

2.1 Mogelijke maatregelen en bijbehorende eisen

Maatregelen om blootstellingen aan stof(fen) die schadelijke gezondheidseffecten veroorzaken worden in principe genomen volgens de volgorde van de 'arbeidshygiënische strategie' [EC, 1998]:

- Maatregelen aan de bron, zoals:
 - o Eliminatie (proces wijzigen zodat de betreffende stof niet meer nodig is)
 - o Substitutie (vervanging van de stof door een minder schadelijke stof of minder schadelijke vorm van de stof)
 - o *Proces aanpassing (andere werkwijzen die de blootstelling verlagen)*
 - o *Isolatie van de bron (bijv. door omkasting, inkapseling of gesloten systemen)*
- Technische maatregelen, zoals:
 - o *Ruimteventilatie*
 - o *Lokale (bron-)afzuiging*
- Organisatorische maatregelen, zoals:
 - o *Beperking van de blootstellingsduur (bijvoorbeeld door taakrotatie)*
 - o *Beperken aantal blootgestelde werknemers (bijvoorbeeld door toegangsbeperking of afscheiding van ruimten).*
- Persoonlijke bescherming, zoals:
 - o *Gebruik van bijvoorbeeld maskers, handschoenen of werkkleding*



Figuur 1: Serrestal: Voorbeeld van een betaalbare en effectieve oplossing voor goede ventilatie.

De *cursief* gedrukte maatregelen zijn in principe toepasbaar bij de verwerking van aardappelen, uien en zaden. Maatregelen zullen alleen worden toegepast als ze bewezen effectief zijn, betaalbaar zijn, veilig zijn, een beperkte invloed hebben op de procesvoering en de kwaliteit van het product niet negatief beïnvloeden. De voorkeur gaat sterk uit naar het toepassen van *bestaande* middelen en methoden die eenvoudig in de praktijk zijn te realiseren en weinig of geen aandacht vereisen. Een voorbeeld van een betaalbare en effectieve oplossing voor ventilatie is een serrestal, zie Figuur 1.

2.2 Gehanteerde methode

In dit werkpakket is voor de drie geselecteerde productgroepen (aardappelen, uien en zaden) op basis van de resultaten van WP 1 (analyse productieprocessen en randvoorwaarden voor toepassen van mitigatietechnieken) en WP 2 (inzicht in de locatie van endotoxinen in of op plantaardige producten, en de mate waarin deze in of op het product 'verankerd' zijn (Spaan et al., 2014)) de verwijderbaarheid van de endotoxinen geëvalueerd. Hierbij zijn de eigenschappen van methoden qua reiniging of inkapseling afgezet tegen de geïdentificeerde bronnen, i.e. de locatie op of in het product en de geschatte mate van binding van de endotoxinen in of op het product. Vervolgens is gekeken naar de potentiële effectiviteit van de methoden en de mate waarin de methode ingrijpt op het product, waarbij de balans tussen mitigatiepotentie en productbehoud belangrijk is. Bovendien zal de techniek ingepast moeten kunnen worden in het (bestaande) verwerkingsproces van bedrijven, waar (tevens) een kostenaspect aan is verbonden.

Bij het uitvoeren van deze evaluatie is gebruik gemaakt van:

- Bestaande (TNO)expertise en informatie uit voorgaande projecten met betrekking tot (binnen en buiten TNO ontwikkelde) reinigings- en andere mitigatietechnieken, procesvoering en arbeidshygiëne
- Vertaalslag van informatie uit WP 1 en 2 wat betreft de identificatie van de bron van endotoxinen op de producten en de randvoorwaarden vanuit productkwaliteit en procesvoering voor de selectie en optimalisatie van mitigatietechnieken
- Benchmarking van deze expertise door middel van literatuurstudies met betrekking tot de afbreekbaarheid en verwijderbaarheid van endotoxinen met behulp van diverse technieken
- Benchmarking van deze expertise met informatie uit de betrokken bedrijven om de kandidaat-technieken te toetsen aan de randvoorwaarden vanuit product, proces en bedrijfsvoering, inclusief arbeidsomstandigheden en milieuaspecten.

Verder is een begin gemaakt met het uitwerken van de geselecteerde mitigatietechnieken naar een praktische vorm, onder andere door het identificeren van producenten en leveranciers die de technologie (deels) toepassen of toe zouden kunnen passen. Bij deze uitwerking is vooral gekeken

naar de huidige beschikbare technologieën en machines, en eventuele stof- en endotoxinen-reducerende voorzieningen. De volgende werkwijze is toegepast:

1. Bedenken welke mitigatietechnieken er zijn:
 - a. Inkapselen met olie, was of coating
 - b. Onschadelijk maken met chloor, fosfaat, UV-ozon, plasma, bevriezen of verhitten
 - c. Verwijderen (of eigenlijk verplaatsen naar ander medium) door a) wassen met bijvoorbeeld water, zeepwater of oplosmiddel, b) borstelen, plakken, etc., c) blazen, zuigen, toepassen van een luchtmes, etc., of d) trillen, zeven, centrifugeren, etc..
2. Inventariseren aan welke criteria de techniek moet voldoen wat betreft:
 - a. Effectiviteit vermindering blootstelling gezien a) voorkomen endotoxinen op product, en b) eigenschappen techniek
 - b. Financieel (investering en lopend zoals energie kosten en onderhoud)
 - c. Techniek mag geen schade aan product door bijvoorbeeld vocht, krachten, temperatuur veroorzaken resulterend in lagere verkoopbaarheid, houdbaarheid, etc.
 - d. Implementeerbaarheid in het bestaande proces en op welke termijn
 - e. Voldoen aan normen
 - f. Gebruiksgemak
 - g. Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO), bijv. op het gebied van veiligheid en milieuaspecten, zoals afval
 - h. Extra voordeel opleverend (bonuspunten)
3. Bepalen hoe belangrijk elk aspect meeweegt voor de branche
 - a. 'Killer requirements': eisen waaraan de techniek verplicht is te voldoen
 - b. Acceptatie-graad
4. Maken van eerste selectie door afstrepn technieken die niet door de 'killer requirements' komen
5. Scoren van elke overblijvende techniek tegen de randvoorwaarden met korte uitleg rationale (Trade Off Tabel)
6. Selectie van de meest geschikte technieken

Het resultaat is een 'short-list' van technieken, deels algemeen toepasbaar en deels specifiek voor een bepaalde sector. Hierbij wordt onder andere onderscheid gemaakt in bestaande technieken of technieken waar nog (door)ontwikkeling voor nodig is voordat deze in de praktijk kunnen worden toegepast.

2.3 Gerelateerde TNO-projecten

Naast het huidige project is in januari 2014 een Technologie Cluster (TC) project¹ opgestart getiteld "Endotoxinen en waterbehandeling" (TNO projectnummer 060.05699). Dit project is specifiek gericht op de aardappelverwerkende industrie,

¹ Een Technologie Cluster (TC) project is gericht op het delen van bestaande (TNO)kennis met het MKB

aangezien in deze sector de vraag leeft of het proceswater een mogelijke bron vormt voor blootstelling aan endotoxinen. Doel van dat project is om de sector een helder beeld te geven van de effecten van de natte processen op blootstelling aan endotoxinen, en om handvatten te bieden voor optimalisatie van het watersysteem om zo blootstelling aan endotoxinen te voorkomen. Om dubbel werk te voorkomen zullen we in dit rapport daarom maar beperkt ingaan op waterbehandeling. We volstaan hier met de opmerking dat in generieke zin de blootstelling kan worden beperkt door het proceswater te koelen of te ontsmetten (minder groei), te filteren (minder bacteriën en endotoxinen) en door het spatten en versproeien van vuil water te beperken.

Ook is in juli 2014 een TC-project opgestart getiteld “Aanpak emissiepunten endotoxinen”, dat specifiek is gericht op de uienverwerkende industrie (TNO projectnummer 060.09168). Het doel in dat project is het aanbrengen van een prioritering van kansrijke en effectieve luchttechnische beheersmaatregelen voor bewerkingsprocessen in de uiensector, en kennisoverdracht over mogelijke beheersmaatregelen. Voorbeelden van mogelijke beheersmaatregelen zijn het inkapselen van de bron, lokale stromingsbeheersing en zonebeluchting.

Verder is in juli 2014 een TC-project opgestart getiteld “Filters en filtersystemen endotoxinen”, waarin een uitgebreidere studie van de mogelijkheden voor het toepassen van filters en filtersystemen ter voorkoming van blootstelling aan endotoxinen wordt onderzocht (TNO projectnummer 060.08332). Er is veel onduidelijkheid over de effectiviteit van filtersystemen (inclusief filters) die worden toegepast in ventilatiesystemen, bronafzuiginstallaties en stofzuigers met als doel de blootstelling aan endotoxinen te verminderen. De belangrijkste innovatiekansen met betrekking tot filtersystemen is het optimaliseren van de filterefficiëntie voor endotoxinen (en stof). Daarnaast is filterreiniging een belangrijke voorwaarde voor het duurzaam functioneren van de filtersystemen. Het is vanuit het aspect van energiegebruik ook belangrijk dat de genoemde filtersystemen zoveel mogelijk functioneren op basis van recirculatie van (gefilterde) lucht. Tot slot zullen de filtersystemen gebruiksvriendelijk en vooral ook onderhoudsarm moeten worden ontworpen en geïnstalleerd. Het doel van dit TC-project is het aanbrengen van een prioritering van kansrijke en effectieve technieken in relatie met een specifieke branche. Tevens zullen met de kennis van TNO de filtersystemen worden geoptimaliseerd en waar mogelijk worden geïnnoveerd, en zullen recente TNO innovaties (multicyclonen, elektrostatisch, ionisatie, schuimtechnologie en stofzuigers) met de deelnemende MKB-bedrijven worden gecommuniceerd.

3 Mitigatietechnieken aardappelverwerkende industrie

3.1 Gemeten (persoonlijke) blootstelling

De blootstelling aan endotoxinen bij aardappelverwerking is meermalen gemeten (zie Tabel 1). In de bedrijven waar de verwerking zich beperkt van lossen tot verpakken (zie Figuur 2) ligt het geometrisch gemiddelde van de metingen op of maximaal een factor 3 hoger dan de voorgestelde grenswaarde van 90 EU/m³. Hier is een reductiefactor van 3 normaal gesproken voldoende en, om wat speling te hebben, een factor 5 wenselijk om aan de eisen te voldoen. Als daarbij ook oorzaken van uitschieters naar boven worden weggenomen, zal deze aanpak naar alle waarschijnlijkheid voldoende effect hebben.

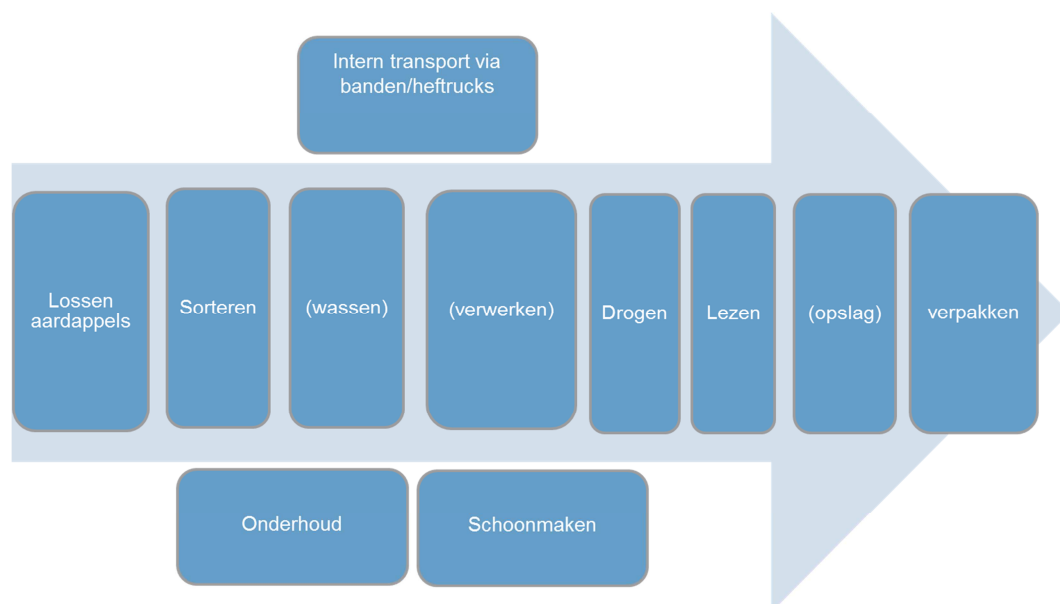
Tabel 1: Gemeten waarden van endotoxineblootstelling bij aardappelverwerking

Jaar	Beschrijving	N	Inhaleerbaar stof GM (range) (mg/m ³)	Endotoxinen GM (range) (EU/m ³)
1992 ¹	Aardappel verwerking (Nederland)	211 / 195	1,0 (<0,4-153)	272 (10-29083)
2001 ²	Kleinverpakker			
	- Ochtend	10	6,9 (2,4-28,8)	72 (8,7-303)
	- Middag	10	7,1 (2,5-23,6)	59 (19-148)
2002 ³	Aardappelteelt – sorteren	2	2,0 (0,8-5,2)	314 (96-3130)
2002 ⁴	Aardappel verwerking (Polen)	8	14 (1,4-201)	10072 (110-18.969.000)
2011 ⁵	Groot kleinverpakkingsbedrijf *	9	3,6 (1,6-6,2)	99 (66-141)
	Groot kleinverpakkingsbedrijf	9	1,0 (0,6-1,9)	85 (25-346)
	Klein kleinverpakkingsbedrijf	7	6,4 (4,2-11,4)	184 (130-246)

¹ Zock et al., 1995; ² NAK, 2001; ³ Spaan et al., 2002; ⁴ Dutkiewicz et al., 2002; ⁵ Zaat et al., 2011

* Bedrijf dat grote volumes aardappelen verpakt in kleine verpakkingen

Zeer hoge concentraties endotoxinen zijn gevonden tijdens de verwerking van aardappelen tot andere producten (zie Tabel 2), met name als de aardappelen tot pulp zijn verwerkt (Zock *et al.*, 1995; Dutkiewicz *et al.*, 2002). Bij de verwerking tot pulp wordt onder andere veel warm water gebruikt waarin levende (Gram-negatieve) bacteriën voorkomen; ideale omstandigheden om endotoxinen te laten ontstaan. Bij de processen komt veel water vrij in de vorm van aerosolen (inclusief spetters en druppels). Het vermoeden bestaat dat die deels ingeademd worden en zo sterk bijdragen aan de persoonlijke blootstelling aan endotoxinen.



Figuur 2: Procesbeschrijving van een typisch verpakkingsproces voor aardappelen

Tabel 2: Gemeten endotoxinenblootstelling bij aardappelverwerking (in EU/m³) (Zock *et al.*, 1995)

Job category/plant	<i>N</i>	<i>K</i>	AM	GM	GSD	$bw\hat{R}_{0.95}$	Range
Technicians	19	11	156	90	2.8	8.4	22–938
All-round	51	31	909	262	4.5	188	28–13 780
Starch unit	20	12	415	290	2.5	5.3	44–1439
Co-products unit	22	16	289	104	3.6	62	14–2971
Unloading/prewash	5	4	1131	349	4.8	—	144–4914
Washing department	23	14	1531	770	4.2	111	32–4675
Grinding department	7	4	562	489	1.8	—	262–1070
Extraction/refinery	15	11	1519	860	4.0	153	42–4101
Drying departments	13	7	341	175	3.3	38	37–1717
Fibre dehydration	8	5	8167	1016	19	—	43–29 083
Starch sackers	10	6	390	120	6.8	1616	10–1442
Protein sackers	2	2	239	192	2.7	—	95–383
Plant 1	23	16	239	83	3.6	91	14–2971
Plant 2	30	20	3352	678	6.3	811	43–29 083
Plant 3	66	42	735	290	4.1	114	26–4914
Plant 4	76	45	673	256	4.3	127	10–4675
All	195	123	1055	272	4.8	232	10–29 083

N, number of measurements.

K, number of workers.

AM, arithmetic mean.

GM, geometric mean.

GSD, geometric standard deviation.

$bw\hat{R}_{0.95}$, ratio of 97.5th and 2.5th percentiles of the between-worker distribution.

3.2 Bronnen van endotoxinen

Stap 1 in de reductie van inhalatoire blootstelling is het wegnemen van de bronnen van blootstelling. In dit project is in een eerder stadium bepaald wat die bronnen kunnen zijn (Spaan *et al.*, 2014). Dat zijn er meerdere, namelijk:

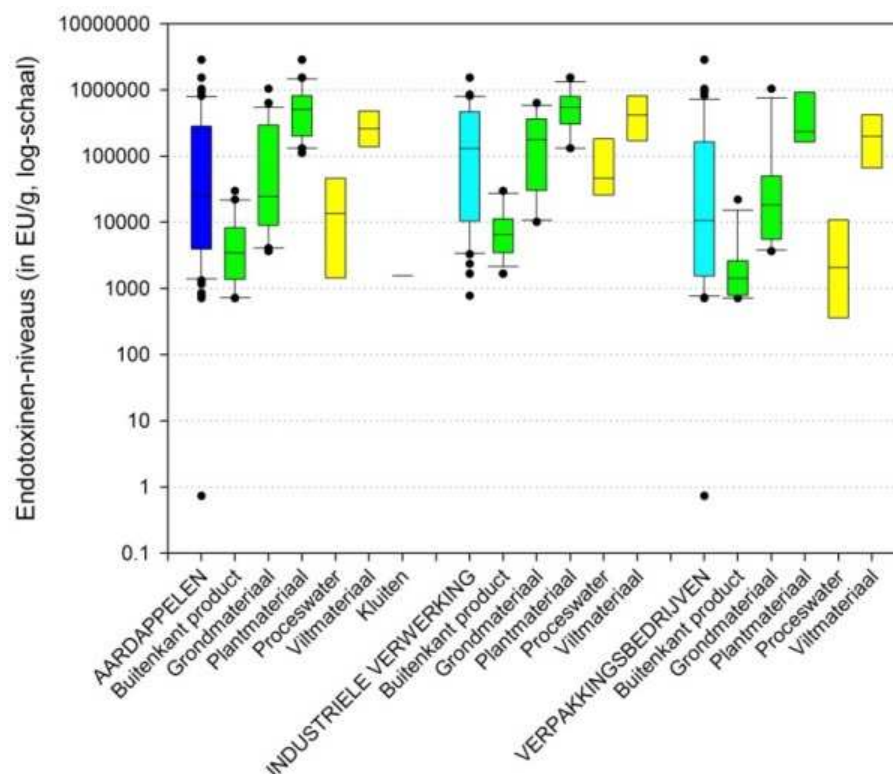
- Het product zelf en meekomend plant- en grondmateriaal zoals die worden aangevoerd naar de verwerkers, inclusief mogelijk enige rotte aardappelen en plantmateriaal. Volgens vier aardappelverwerkers varieert de hoeveelheid rotte aardappelen en plantmateriaal erg met het seizoen en de omstandigheden tijdens het rooien. Tabel 3 geeft de inschattingen van de gemiddelden en het

bereik. Als een partij te rot is, wordt deze niet gekocht. Wel kan het zo zijn dat een partij opeens gaat rotten, door veranderde omstandigheden (temperatuur/ventilatie).

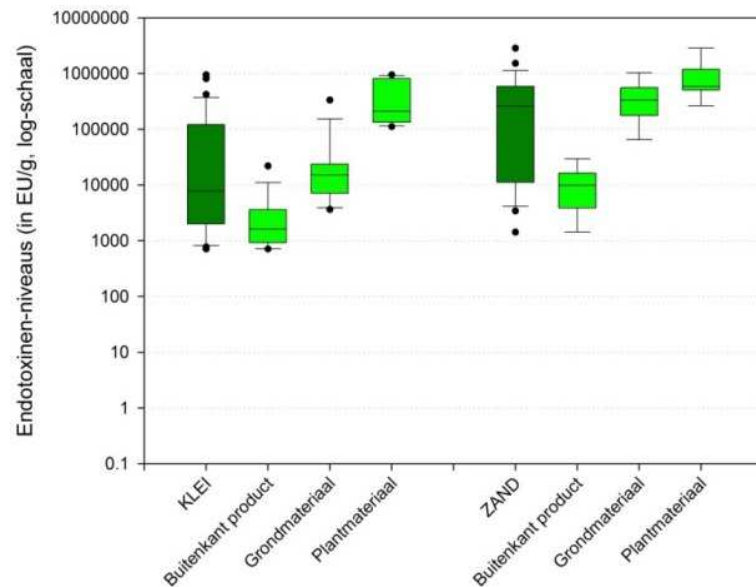
- Het proceswater dat deels wordt gerecirculeerd; hierin kunnen bacteriën groeien, die als ze afsterven endotoxinen vrijgeven. Hoe koeler het proceswater, hoe minder bacteriën en dus endotoxinen (Zock *et al.*, 1995).
- Materialen in het productieproces die lang vochtig blijven, met name het vilt in viltdrogers (die het proceswater van de natte aardappelen opvangen). Deze materialen hebben ruwweg de omgevingstemperatuur, dus daar vindt mogelijk ook bacteriegroei plaats.

Tabel 3: Inschatting meekomend plant/grondmateriaal volgens vier bedrijven

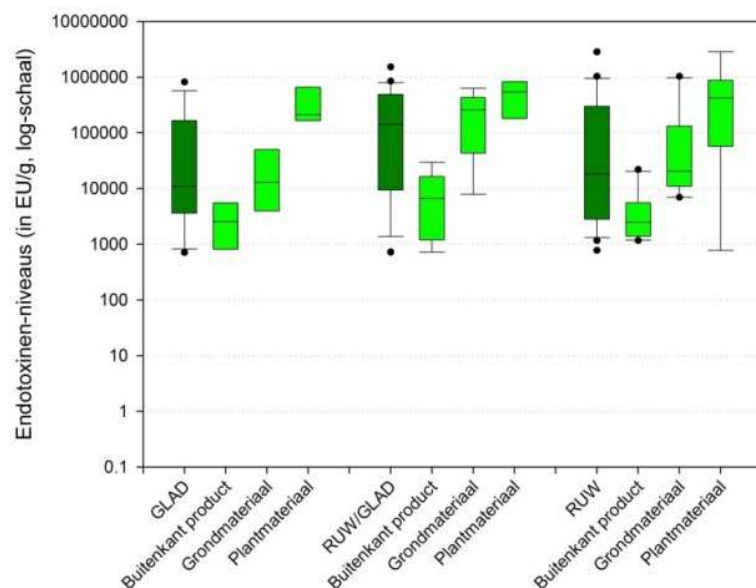
	Aanhangende grond	Plantmateriaal	Rotte aardappelen
A	1-3%	0,5%	0,5%
B	2,5% (0,5-10%)	minimaal	
C	4,5% (1-15%)		0,1% (0-1%)
D		2-5%	~0% (0-2%)



Figuur 3: Endotoxinen-niveaus bij aard-appelverwerking – per soort monster en soort bedrijf



Figuur 4: Endotoxinen-niveaus bij aardappelverwerking – per grond- soort en soort monster



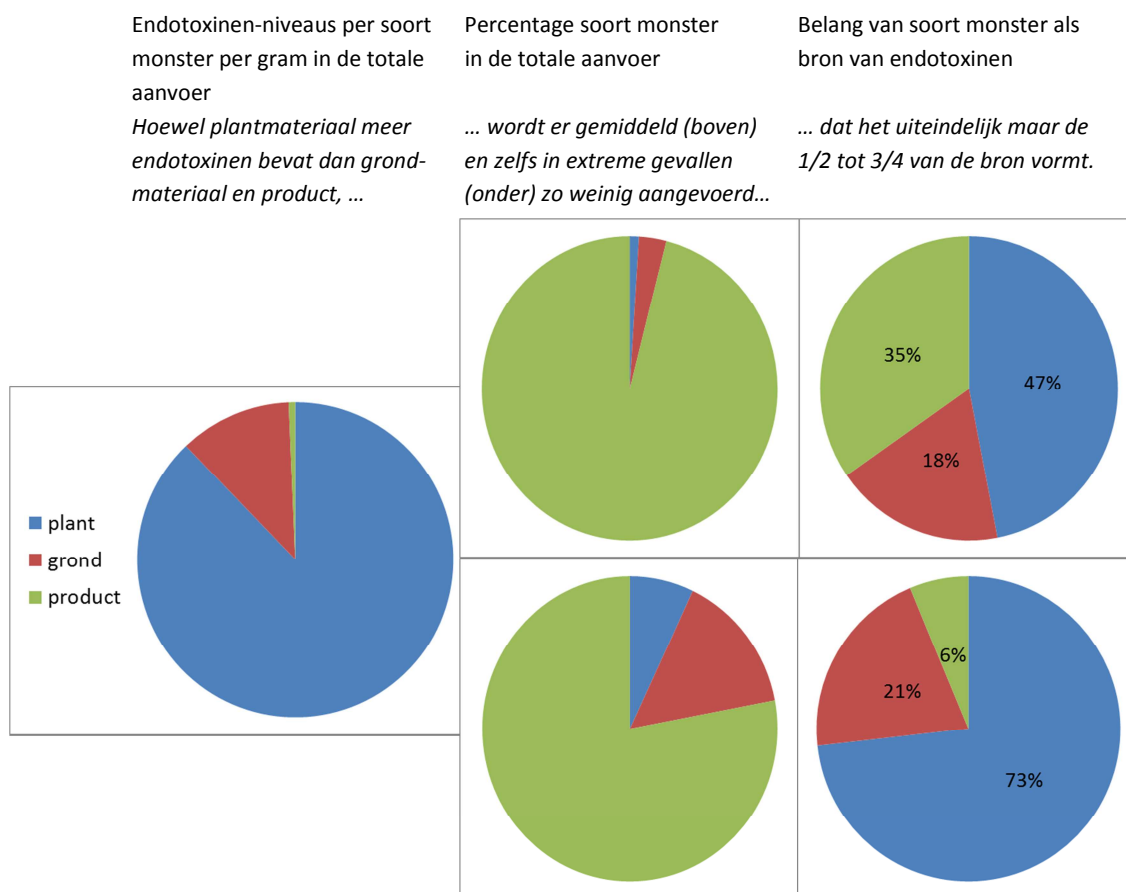
Figuur 5: Endotoxinen-niveaus bij aardappelverwerking – op ruwheid van de aardappel. Vergeleken zijn aardappelen met een gladde huid (n=17), aardappelen met een ruw/gladde huid (n=26) en aardappelen met een ruwe huid (n=29).

3.2.1 Endotoxinen-niveaus op aangevoerde aardappelen en meekomend materiaal

De hoogste endotoxinen-niveaus worden steeds gemeten aan resten plantmateriaal, dan aan grondmateriaal en tenslotte aan de buitenkant van het product (zie Figuur 3). De verhoudingen zijn grofweg 130 : 17 : 1. Plantmateriaal is afgestorven of aan het afsterven. Hoewel plantmateriaal de meeste endotoxinen

bevat, kan het nog steeds een onbelangrijke bron zijn als het nauwelijks aanwezig is in de productstroom die binnenkomt bij een verwerkend bedrijf.

Op basis van informatie van de aardappelverwerkers (Tabel 3), schatten we in dat de gewichtsverhouding van de hoeveelheid plantmateriaal : grondmateriaal : product typisch 1 : 3 : 96 is. Dit kan uitschieten naar 7 : 15 : 78 tijdens het rooien/oogsten of tijdens natte omstandigheden (kleverige grond) tijdens de afluiddperiode. Ook voor pootaardappelen waar relatief veel rotte moederknollen in kunnen zitten, kan dit het geval zijn. Vermenigvuldiging van de relatieve concentratie endotoxinen met de relatieve hoeveelheid materiaal levert de verhouding van de hoeveelheid endotoxinen die per type materiaal wordt aangevoerd. Dan vinden we plantmateriaal : grondmateriaal : product is gelijk aan 1,4 : 0,5 : 1 als we de gemiddelde hoeveelheid plant- en grondmateriaal gebruiken. Bij grote aanvoer van restmateriaal vinden we de verhouding 12 : 3 : 1. Figuur 6 verduidelijkt dit.



Figuur 6: Relatieve hoeveelheden endotoxinen per productonderdeel (productmonsters uit aardappelsector) (plant / grond / product).

De conclusie is dat verwijdering van plantmateriaal als eerste stap van het verwerking een betekenisvol effect heeft op de hoeveelheid endotoxinen die

wordt aangevoerd. Het beperkt de aanvoer van endotoxinen met ongeveer de helft en maximaal driekwart, ondanks dat er maar weinig plantmateriaal wordt aangevoerd. Aannemende dat de sterkte van de bron rechtstreeks verband houdt met de mate van blootstelling, is het verwijderen van plantmateriaal onvoldoende om de gewenste factor 3 reductie te behalen. Door zowel plant- als grondmateriaal te verwijderen is nog eens een factor 2 reductie te behalen (samen een factor 6), wat ook onvoldoende is.

We hebben eventuele rotte aardappelen buiten deze beschouwing gelaten omdat verschillende verwerkers aangeven dat die nauwelijks voorkomen en omdat we geen goede metingen hebben aan de endotoxineniveaus van rotte aardappelen. Verwijderen van eventuele rottende exemplaren is vooral van belang om verdere rot in de partij te voorkomen, dus voor te bewaren partijen aardappelen. Bijkomend voordeel is dan dat er een bron van bacteriën, en daarmee een potentiële bron van endotoxinen wordt verwijderd, maar hoe groot dat effect is, kunnen we met de beschikbare gegevens niet goed inschatten.

Opmerkelijk is wel dat de endotoxinen-niveaus op productmonsters van zandgrond (GM 120.100 EU/g) bijna een factor tien hoger zijn dan de endotoxine-niveaus van kleigrond (GM 13.900 EU/g). Dit kan betekenen dat bij de verwerking van zandaardappelen intensievere maatregelen nodig zijn.

Bij industriële verwerking worden significant hogere waarden gevonden op de aardappel (namelijk factor 3 hoger), en het aanhangend grondmateriaal (namelijk factor 2 hoger) dan in verpakkingsbedrijven (Figuur 3). In principe vindt in beide typen bedrijven hetzelfde type voorverwerkingsproces plaats tot en met de daadwerkelijke verwerking, en was het dus de verwachting dat de endotoxinen-niveaus ongeveer vergelijkbaar zouden zijn. Mogelijk wordt het verschil veroorzaakt doordat bij de verpakkingsbedrijven tijdens dit onderzoek vrijwel alleen de schonere kleiaardappelen zijn bemonsterd, terwijl bij de industriële verwerking twee derde van de geanalyseerde monsters het de vuilere zandaardappelen betrof. Daarom zijn in Tabel 4 de gemeten niveaus voor beide verwerkers uitgesplitst naar zand- en kleigrond. De niveaus voor product en plantmateriaal voor kleiaardappelen blijken dan vrijwel gelijk. Voor kleigrond daarentegen zijn de niveaus bij de industriële verwerking bijna een factor 2 *lager* dan bij de verpakkers. Dit onderbouwt de eerdere hypothese dat het verschil tussen de verwerkers met name veroorzaakt wordt door het soort verwerkte aardappel. De niveaus voor 'zand' voor de verpakkers wijken nogal af van het overall gemiddelde, naar beneden voor het product en naar boven voor de overige categorieën. Omdat er maar één monster doorgemeten is, kunnen hier verder geen conclusies aan verbonden worden.

Tabel 4: Vergelijking endotoxineniveau in aardappelen van zand- en klei grond

Endotoxinen-niveaus (in EU/g monster)	Overall				Industriële verwerking				Verpakkingsbedrijven			
	Klei		Zand		Klei		Zand		Klei		Zand	
	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM	N	AM
Buitenkant product	16	3501	9	11038	4	3760	8	12239	12	3414	1	1429
Grondmateriaal	16	39293	9	392915	4	24820	8	312118	12	44118	1	1039294
Plantmateriaal	11	382085	9	938058	4	374205	8	699981	7	386588	1	2842671

Het blijkt dat de ruwheid van de schil geen significante invloed heeft op de hoeveelheid endotoxinen (Figuur 5). Als er meer grondmateriaal aan de ruwere aardappel blijft hangen, is de totale hoeveelheid die zo wordt binnengebracht wel navenant groter. Hierover zijn echter geen verdere gegevens beschikbaar.

Hoewel er maar twee kluiten zijn geanalyseerd op aanwezige hoeveelheid endotoxinen (Figuur 3), lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat deze maar weinig endotoxinen bevatten. Het grondmateriaal dat van de aardappelen zelf afkomt is aanzienlijk sterker vervuild met endotoxinen.

3.2.2 Endotoxinen in en op vilt

Het viltdoek van de viltrogers lijkt over het algemeen veel endotoxinen te bevatten, ongeveer net zo veel als het plantmateriaal (zie Figuur 3). Mogelijk zijn deze endotoxinen afkomstig van de buitenkant van de aardappelen, die over het viltdoek bewegen om deze te drogen, inclusief het proceswater waarin de aardappelen voorafgaand aan het drogen zijn gewassen. Ook kan er bacteriegroei in de vochtige doeken optreden. Of die endotoxinen ook vrijkomen tijdens het verwerkingsproces en daarmee een bron van blootstelling vormt voor de werknemers is niet zeker, maar lijkt wel zeer waarschijnlijk omdat de aardappelen trillend over het viltdoek bewegen.

Uit een enquête onder aardappelverwerkers blijkt dat de viltdoeken niet of nauwelijks worden onderhouden en een tot enkele malen per jaar worden vervangen. In de tussentijd bouwt de concentratie endotoxinen op, ook al omdat die stoffen niet snel afbreken.

Als er direct bij, of direct achter de viltroger 'gelezen' wordt, betekent dat dat er relatief veel werknemers aanwezig zijn op een plek in het proces waar de kans op blootstelling (relatief) groot is. Het wordt dan ook aanbevolen om hiervoor maatregelen te treffen.

3.3 Mogelijke maatregelen

3.3.1 Droge technieken

Bij het overstorten van de aardappelen komt veel stof vrij, wat waarschijnlijk de oorzaak is van de hoge persoonlijke blootstelling bij deze processtap (zie Tabel 2). Als het product niet gewassen wordt en dus droog moet blijven, is sproeien met water geen optie om de stofoverlast te beperken. Omdat het meekomende

materiaal (en dus stof) relatief veel endotoxinen bevat, is het daarom gunstig om dit materiaal zoveel mogelijk al bij de overstort te verwijderen, voordat het in het verdere verwerkingsproces terecht komt, maar wel zo dat persoonlijke blootstelling minimaal is. Drie methoden om aanhangend stof te verwijderen die nadere aandacht verdienen zijn afblazen, borstelen en selecteren, en worden in de volgende paragrafen verder besproken.

Door het direct verwijderen van meekomend grond- en plantmateriaal dat onderdeel is van de binnenkomende productstroom (partijen aardappelen) kan aan het begin van het verwerkingsproces een grote stap gemaakt worden met betrekking tot reductie van blootstelling aan endotoxinen. Met het oog op het verminderen van de bron van blootstelling voordat deze het verwerkende bedrijf binnenkomt kan ook worden overwogen om tijdens of (direct) na het oogsten (rooien) of tijdens het inschuren het overtollige grond- en plantmateriaal al zoveel mogelijk te verwijderen door bijv. een borstelmachine te gebruiken. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat voor goede bewaarcondities een dun laagje zand/klei om de aardappel en de aanwezigheid van wat plantmateriaal nodig is. Ook is het de vraag of borstelen effectief is als de meekomende grond nog nat is. Een alternatief kan zijn om de aardappelen te borstelen tijdens het uitschuren bij de teler. De partijen aardappelen zouden zo bij binnenkomst in het verwerkende bedrijf schoner zijn, waarbij de blootstelling aan endotoxinen tijdens de verder verwerking waarschijnlijk aanzienlijk lager zal zijn en wellicht bijvoorbeeld ook het wassen van de aardappelen tijdens deze verwerking weer efficiënter kan. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat ook de werknemers die tijdens het teelt- en oogstproces betrokken zijn in potentie worden blootgesteld aan endotoxinen, en dat deze blootstelling dus ook zo goed mogelijk moet worden beheerst.

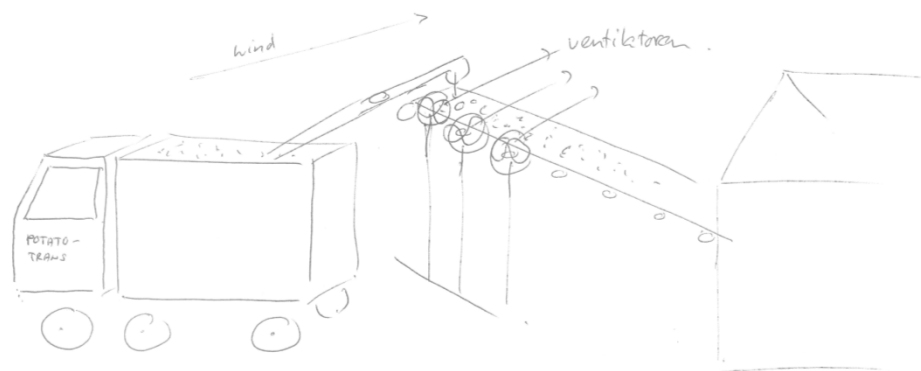
3.3.1.1 Afblazen

Om de persoonlijke blootstelling te minimaliseren, is goede ventilatie wenselijk. Dit valt te versterken met luchtmessen of andere sterke luchtstromen (Figuur 6).

Een mogelijk aanpak is:

- Overstorten buiten of in een zeer open en goed geventileerde ruimte
- Een of enkele ventilatoren die met de windrichting mee stof wegblazen nabij het stortpunt
- Eventueel versterkt met een luchtmes (zie ook paragraaf 3.3.4.1 'Drogen zonder vilt') dat van boven stof verwijdert (niet zijwaarts of van onderen om te voorkomen dat het product van de band valt)
- Geen toegang van personeel in de 'pluim', kortom in de windrichting
- Ventilatoren laten draaien tot minimaal 15 minuten na einde overstort of langer als de ruimte niet optimaal is geventileerd
- Als personeel tijdens het proces bij de installatie moet zijn voor onderhoud, dan alleen met een mondkapje (om precies te zijn: halfgelaatsmasker met

deeltjesfilter). Naderhand handen en gezicht grondig wassen met water en zeep.



Figuur 6: Schets van een droog afblaassysteem

3.3.1.2 Borstelen

Hoewel van vers geoogste aardappelen wordt gezegd dat ze zeer kwetsbaar zijn omdat de schil nog nauwelijks is gevormd,² brengen diverse firma's machines op de markt om aardappelen droog te borstelen, zoals bijvoorbeeld Allround (Andijk), Duijndam (Nieuwerkerk aan de IJssel), Tummers Methodic (Hoogerheide) en SAMRO (Burgdorf, Zwitserland). We hebben geen gegevens kunnen vinden over de effectiviteit van het verwijderen van grondmateriaal.

Bij het borstelen kunnen stof en dus endotoxinen vrijkomen – gezien de aard van het proces lijkt dat waarschijnlijk. Of en in welke mate de blootstelling aan endotoxinen daardoor groter wordt, is niet gemeten. Bij sommige machines, wordt het borstelen gecombineerd met sorteren, lezen en met inpakken. In zulke gevallen is er veel personeel dicht bij de machine aan het werk, wat de kans op blootstelling verhoogt. In zulke gevallen kan een effectieve maatregel zijn: het omkappen en afzuigen van de installatie. Als er alleen geborsteld wordt, kan dit ook in een ruimte worden geplaatst waar zelden personeel komt (zie boven, paragraaf 3.3.1.1 'Afblazen').

3.3.1.3 Automatisch lezen

Als er regelmatig partijen met veel plantmateriaal of rotte aardappelen worden verwerkt, kan het effectief zijn om deze bronnen van endotoxinen snel te verwijderen. In zulke gevallen kan men de procesvolgorde bij aardappelverwerking aanpassen door te beginnen met *geautomatiseerd* lezen, waar dus geen personeel bij aanwezig hoeft te zijn. Er is minimaal één installatie (zie Figuur 7) waarvan de leverancier stelt dat dit mogelijk is: de Smart Grader van de firma Miedema (Winsum, Friesland). Bijkomend voordeel van dit apparaat is dat het de aardappelen ook meteen sorteert. De Smart Grader bespaart arbeidskosten. Het

² <http://vroegop-randwijk.nl/producten/aardappelen/> (bezocht op 4 juli 2014)

verwijderen van rotte bestanddelen zal bovendien de bewaartermijn van het product verlengen.



Figuur 7: De Smart Grader van Miedema.³

In de Smart Grader wordt alles wat op een transportband langs komt optisch beoordeeld en worden ongerechtigheden pneumatisch 'weggeschoten' en aardappelen meteen gesorteerd op grootte. Als de detectie van rotte producten, waarvan geclaimd wordt dat die ook gezien worden, onvoldoende is, kan er mogelijk een 'sniffer' aan het systeem worden toegevoegd (zie paragraaf '6.4 Monitoring (sensor)'). De Smart Grader is op dit moment met name gericht op pootaardappelen en heeft een capaciteit tot maximaal 15 ton per uur. Voor de verwerking van consumptieaardappelen zou de capaciteit dus flink moeten worden verhoogd. Omdat plantresten en zieke aardappelen pneumatisch worden verwijderd, bestaat een significant risico dat zo juist endotoxinen in de lucht worden gebracht. Daarom moet men de machine gebruiken in een afgesloten en goed geventileerde ruimte. Moet die alsnog tijdens operatie worden betreden, dan moet het personeel een mondkapje (halfgelaatsmasker met deeltjesfilter) dragen. Naderhand handen en gezicht grondig wassen met water en zeep.

3.3.1.4 *Niet geschikte droge technieken*

Voor het verwijderen bij de bron zijn een aantal andere droge technieken niet geschikt:

- Droge verhitting van het product om endotoxinen te verwijderen: Endotoxinen zijn thermisch behoorlijk stabiel: een behandeling van een half uur bij 250°C is nodig om een factor 1000 reductie te behalen. Dat overleeft het product niet.
- Oxidatiemethoden: Verbranding is niet acceptabel voor het product. Plasma en ozon zijn droog en relatief koel (40-60°C), maar dringen onvoldoende door in de dikke lagen aanhangend vuil of in de schil.

3.3.1.5 *Trade-off droge technieken*

Tabel 5 vergelijkt de drie technieken (stof afblazen, borstelen en automatisch lezen) om droog endotoxinen te verwijderen.

³ <http://www.miedema.com/nl/pagina/sorteertechniek/smart%20graders/>

Tabel 5: Trade-off van toepasbare droge reinigingstechnieken

Methode	Effectief als bronbeperking	Effect op blootstelling	Totale Kosten	Effect op milieu	Prioriteit	Opmerkingen
Stof Afblazen	Beperkt	Reductie bij goede ventilatie	Honderden euro	Geen grote effecten	1	Vooraf voor reductie blootstelling
Borstelen	Onbekend, maximaal 25%	Omkappen of isolatie nodig	Duizenden euro + stroom	Meer stroom	2	Vermindert vuillast bij wassen
Auto-matisch lezen	Maximaal 50% tot 75% (bij vuile aanvoer)	Omkappen of isolatie noodzakelijk	investeren, meer stroom, minder arbeid	Meer stroom, materialen	3	Sorteert ; kan bewaartijd verhogen

3.3.2 *Wassen (natte technieken)*

Endotoxinen zijn wateroplosbaar en dus door wassen van het product te verwijderen. Daarmee wordt het probleem alleen maar verplaatst, want ook in het water zijn de endotoxinen stabiel. Hitte, zuur of base tasten de endotoxinen niet aan. Omdat proceswater normaal gesproken voor een groot deel wordt gecirculeerd bij aardappelverwerking – uit kostenoverwegingen en om het milieu minimaal te belasten – is het gevolg dat dit proceswater in veel gevallen veel endotoxinen bevat. Dit wordt door metingen bevestigd (zie Figuur 3).

Spetters en druppels proceswater zullen dus ook aanzienlijke hoeveelheden endotoxinen bevatten. Die spetters en druppels kunnen in ogen en longen terechtkomen en dus aan de blootstelling bijdragen. In een ander project wordt nagegaan welke maatregelen er bestaan om die endotoxinen uit het water te verwijderen. Omdat zulke maatregelen in de regel kostbaar zijn en niet op korte termijn toepasbaar, is de bron dus niet eenvoudig te verwijderen, maar deze kan wel worden geïsoleerd van de werknemers.

3.3.2.1 *Eerst wassen*

Als aardappelen in het proces gewassen worden, kan het aan te raden zijn om ze al meteen bij het storten te besproeien, zoals in een deel van de bedrijven al gebeurt. Dat vermindert stofoverlast en verwijdert meteen een deel van de endotoxinen. Het opvangen water kan in het riool of in een sloot worden geloosd.⁴

⁴ Het lozen van water valt onder de milieuwetgeving. Via de Activiteitenbesluit Internet Module (<http://aim.vrom.nl/>) kan voor ieder bedrijf en situatie een gedetailleerd advies worden verkregen. Ook als er geen milieuvergunning nodig is, wat veelal het geval zal zijn voor deze activiteit, is er wel een meldingsplicht naar VROM en naar de waterbeheerder.

Vervolgens is het advies om eerst de aardappelen te wassen en te drogen en dan pas te sorteren, om zo vroeg mogelijk in het proces een belangrijk deel van de endotoxinen te elimineren. Het wassen en drogen moet plaatsvinden in vrijwel gesloten en afgezogen systemen om blootstelling te beperken. De afgezogen lucht bevat hoogstwaarschijnlijk stof en endotoxinen (zie ook paragraaf 6.1 'Lucht reinigen').

De overkappingen worden bij voorkeur gemaakt uit doorzichtig plexiglas of lexan, zodat het mogelijk is het proces te inspecteren. Moet de kap open tijdens het proces, voor het verwijderen van blokkades of om andere problemen te verhelpen, dan dient het personeel een mondkapje te dragen.

Het is niet bekend in hoeverre het wassen van aardappelen bijdraagt aan de verwijdering van endotoxinen en van de bacteriën die endotoxinen produceren. Maar er zijn sterke aanwijzingen dat het niet volledig werkt, immers ook bij de verwerking van aardappelen komen (veel) endotoxinen vrij, wellicht juist omdat dan de bacteriën door de hitte afsterven en de endotoxinen dan vrijkomen. Om bacteriën en endotoxinen beter te verwijderen, kan men verschillende methoden voorstellen.

3.3.2.2 *Beter wassen*

Het wassen van aardappelen kan in principe effectiever worden gemaakt door (1) chemicaliën oftewel detergenten toe te voegen, (2) door mechanische kracht toe te voegen, (3) door langer te reinigen, (4) of door te verwarmen. De twee laatste opties zijn economisch niet zo interessant, omdat ze respectievelijk een veel grotere installatie vereisen, of veel energie verbruiken en kan leiden tot uitgroei van bacteriën.

Hoe dan ook hebben dergelijke maatregelen weinig zin als het water erg vervuild is. Een eenvoudige manier om het effect van wassen te verbeteren is daarom in twee stappen te gaan wassen. In de eerste stap wordt gewassen met 'vuil' hergebruikt water. In de tweede stap wordt gewassen, of gespoeld, met schoon water. Er moet altijd wat schoon water worden toegevoegd omdat er water verloren gaat door verdamping, spetteren en meeslepen met de aardappelen. Door dat water te gebruiken om de aardappelen na te spoelen, en pas daarna het water aan het recyclagesysteem toe te voegen, wordt dat effectief benut. Het is aan te raden om tussendoor de aardappelen grotendeels droog te schudden, zodat zo min mogelijk vuil water meeloopt naar de naspoelstap.

Een effectieve manier om de beperkte stroom schoon water te gebruiken is dat water te sproeien over de aardappelen. Met name het gebruik van het Undine-systeem van IWC (Grou) kan daarin effectief zijn. Dat systeem vernevelt het water met luchtdruk tot een effectieve straal. De kracht daarvan kan eenvoudig worden aangepast door de luchtdruk aan te passen, zodat het product geen schade hoeft

te ondervinden. Voorwaarde is wel dat er met leidingwater wordt gewerkt om verstopping van de sproeimond te voorkomen. Op deze manier wordt dus meteen mechanische kracht toegevoegd. Het is te overwegen deze methode toe te passen als sproeimethode bij het storten van de aardappelen. Het waterverbruik neemt dan wellicht iets toe (ten opzichte van droog storten), maar een significant deel van het vuil kan hiermee mogelijk worden verwijderd.

Het sproeien leidt wel tot een nevel en tot het verspreiden van spetters waar endotoxinen in kunnen zitten. Dat betekent dat deze methode òf buiten moet worden toegepast zonder dat personeel in de buurt komt, òf in een afgesloten machine of ruimte om te voorkomen dat personeel de nevel kan inademen.

Een andere manier om mechanische energie toe te voeren is het gebruik van borstels tijdens het natte reinigingsproces. Machines daarvoor bestaan wel, maar worden voor zover wij hebben kunnen nagaan ingezet om de aardappelen te wassen en te schillen of schrappen. De schil van (jonge) aardappelen lijkt ongeschikt voor deze werkwijze.

Ook is het mogelijk ultrasoon of eventueel megasoon te reinigen: geluidstrillingen maken deeltjes van het oppervlak los en kunnen wellicht ook een bacteriedodende werking hebben, dat wordt op dit moment onderzocht, onder andere aan de HZ (Hogeschool Zeeland, Vlissingen). Ultrasoon reinigen werkt doordat de trillingen cavitaties veroorzaken, kleine luchtbellen op wanden en dus ook op de aardappel. De luchtbellen imploderen en veroorzaken daardoor sterke stromingen. Die zijn sterk genoeg om in aluminiumfolie gaten te maken. Ook dat lijkt voor aardappelen niet zo geschikt. Megasoon reinigen is milder maar ook duurder. Vuil in het water absorbeert de trillingen en beperkt zo de effectiviteit.

Het toepassen van reinigingsmiddel, zoals een detergent met eventueel specifieke enzymen (lipasen) die endotoxinen omzetten naar onschadelijke stoffen lijkt voor de hand te liggen. Op internet zijn anekdotische verhalen te vinden over het wassen van aardappelen in een vaatwasser – thuis of in grootkeukens. Steevast wordt daar geadviseerd GEEN reinigingsmiddel te gebruiken,⁵ omdat dat kan achterblijven op de aardappel, zelfs na intensief spoelen. Dat is onwenselijk uit gezondheidsoverwegingen en vanwege de smaak. De FDA (2014) stelt verder dat ontvettende middelen de natuurlijke waslaag van gewassen nadelig kunnen beïnvloeden. Of dat voor aardappelen schadelijk is, is overigens niet zeker. Het is een risico dat nadere aandacht verdient in het geval dat men deze werkwijze verder zou willen onderzoeken. Ten slotte wordt de werking van reinigingsmiddelen beperkt als er veel vuil in het water aanwezig is, hetgeen normaal gesproken het geval is bij het wassen van aardappelen.

⁵ <http://dailyemerald.com/2006/08/01/uo-stops-cleaning-spuds-in-detergent/>

Tot slot zijn er stoffen en methoden om endotoxinen onschadelijk te maken. Die zijn ontwikkeld voor de medische wetenschap om endotoxinen-vrije preparaten te kunnen maken. Een review hiervan is te vinden in Magalhães *et al.* (2007). Specifieke voorbeelden zijn:

- Omzetting met lipase, een enzym
- Reactie met een eiwit van bijv. kip (Takada *et al.*, 1994) of degenkrab (Fletcher *et al.*, 1993)
- Reactie met calciumhydroxide (Bezerra Silva *et al.*, 2002)
- Behandeling met 5% zoutzuur of natriumhydroxide in ethanol en dimethylsulfoxide (Domelsmith *et al.*, 1989).
- Specifieke adsorbentia (Yi *et al.*, 2012)

Bij de eerste vier methoden worden stoffen toegevoegd die schadelijk zijn voor de mens en die kunnen achterblijven op de aardappel. De eiwitten en enzymen zijn bovendien duur en het calciumhydroxide en natriumhydroxide zijn sterke basen die product en installatie kan aantasten. Zoutzuur is een sterk zuur dat hetzelfde kan doen. Ook de adsorbentia zijn kostbaar en de werkzaamheid ervan in een veel vuilere industriële omgeving is niet aangetoond.

3.3.2.3 Trade-off natte technieken

De verschillende opties om wassen effectiever te maken worden samenvattend vergeleken in Tabel 6. Sproeien en naspoelen lijken de meest kosteneffectieve methoden te zijn. Welke methode ook wordt gekozen, er zijn extra maatregelen nodig om blootstelling aan damp, nevel, druppels en spetters te voorkomen.

Tabel 6: Trade-off van toepasbare natte reinigingstechnieken.*

Methode	Effectief als bronbeperking	Effect op blootstelling	Totale kosten	Ecologie	Prioriteit	Opmerkingen
Sproeien bij lossen	Onbekend	Vermijd blootstelling aan nevel	Honderden euro	Meer water nodig	1	Bv. Undine van IWC
Naspoelen of sproeien	Onbekend	Omkasten of isolatie nodig	Duizenden euro + stroom	Beperkte effecten	2	Bv. Undine van IWC
Nat borstelen	NVT	NVT	NVT	NVT		Kans op schade te groot
Ultrasoon reinigen	NVT	NVT	NVT	NVT		Kans op schade te groot
Megasoon reinigen	Onbekend	Omkasten of isolatie nodig	Tienduizend en euro + stroom	Meer stroom	3	Kans op schade, vereist onderzoek
Detergenten	NVT	Omkasten of isolatie nodig	NVT	NVT		Kans op restanten, schade te groot

Methode	Effectief als bron-beperking	Effect op blootstelling	Totale kosten	Ecologie	Prioriteit	Opmerkingen
Langer reinigen	beperkt	Omkasten of isolatie nodig	Tienduizend en euro + stroom	Meer stroom, materiaal, water	3	Kan leiden tot groei bacteriën
Warm water	beperkt	Omkasten of isolatie nodig	Tienduizend en euro stroom	Meer water, energie	3	Kan leiden tot groei bacteriën
Chemicaliën	onbekend	Extra risico door chemie	Duur	Meer stoffen		Werkzaamheid onbekend
Onschadelijk maken	Mogelijk groot maar onbekend	Groot, als effectief als bron-beperker	Zeer hoog	Meer stoffen		

* Ongeschikte methoden zijn vermeld in grijs

3.3.3 Desinfecteren

Na het wassen en eventueel spoelen is de verwachting dat er op de aardappelen minder endotoxinen zitten en mogelijk ook minder bacteriën. Dat laatste is belangrijk, want die vormen weer een bron van nieuw te vormen endotoxinen gedurende de rest van het proces wanneer deze bacteriën sterven. Het is daarom te overwegen de aardappelen te desinfecteren, ofwel de bacterie-aantallen met minimaal een factor duizend te reduceren. Een bijkomend, of misschien zelfs overwegend, voordeel daarvan kan zijn dat het ook bacteriën en virussen aanpakt die rot en ziekte in de aardappel kunnen veroorzaken.

Om die reden wordt desinfectie van groente en fruit steeds vaker toegepast, zeker bij gesneden producten. Er zijn zeer veel verschillende desinfectiemiddelen en methoden (Duisterwinkel, 2009; FDA, 2014), die we hier opdelen in vijf categorieën. De werking van al deze methoden en middelen wordt sterk beperkt door de aanwezigheid van vuil met een organische basis, zoals grondmateriaal en plantenresten, daarom moeten de aardappelen altijd eerst worden gewassen voordat een vorm van desinfectie wordt toegepast.

3.3.3.1 Desinfectie met niet-afbreekbare stoffen

Met desinfectie met niet-afbreekbare stoffen wordt desinfectie met 'permanente' chemicaliën zoals actief chloor, quaternaire ammoniumverbindingen en dergelijke bedoeld. Deze kunnen restanten op het product achterlaten en zijn daarom minder geschikt voor toepassing op consumentenproducten zoals aardappelen. We rekenen hieronder ook behandeling met 'geactiveerd water'. Dat is water waar zout (vaak keukenzout, NaCl) is toegevoegd en daarna via elektrodes onder spanning is gezet. Daardoor reageert het zout tot een mengsel van stoffen die een

desinfecterende werking hebben. Dit is sterk vergelijkbaar met actief chloor, met als voordeel dat de werkzame stof ter plekke wordt gemaakt. Dat is te prefereren boven het transport van zulke schadelijke stoffen, maar ook bij deze methode kunnen restanten van schadelijke stoffen op het product achterblijven.

Gebruik van actief chloor is overigens wijd verspreid in de voedingsmiddelenindustrie. Daar blijkt het vooral te helpen om uitgebreide bacteriegroei in proceswater tegen te gaan, en daarmee te voorkomen dat het proceswater een bron voor besmettingen wordt (Gil *et al.*, 2009). Er blijven altijd enkele natuurlijke bacteriën achter op het product, en die groeien normaal gesproken weer snel tot het niveau voor desinfectie (Gil *et al.*, 2009).

3.3.3.2 *Desinfectie met afbreekbare stoffen in water*

Hiermee wordt desinfectie met ozon of waterstofperoxide in water bedoeld. Deze stoffen worden verbruikt of vallen na verloop van tijd uiteen in onschuldige stoffen zoals zuurstof en water. Ze kunnen bovendien ter plekke worden gemaakt, zodat er geen transport van gevaarlijke stoffen nodig is. Deze methoden worden daarom steeds vaker toegepast. Deze stoffen kunnen wel schade aan de installaties aanbrengen en, afhankelijk van de concentratie en blootstellingsduur ook aan de mens. Bij het toepassen hiervan zijn dus wel beschermende maatregelen nodig. Ozon en waterstofperoxide zijn daarmee te prefereren boven (actief) chloor, maar ook voor deze stoffen geldt dat het belangrijkste effect is om het proceswater schoon te houden.

3.3.3.3 *Desinfectie met afbreekbare stoffen in gas*

Diverse gassen, met name ozon en ethyleenoxide, worden wel gebruikt voor desinfectie van moeilijk bereikbare onderdelen in medische apparatuur. Voor een goede werking moet het product absoluut droog zijn. Het gas is toxisch en er worden ook toxische producten gevormd door de behandeling. Dit vereist een gasdichte installatie en rigoureuze behandeling van de restgassen. Deze methode is naar onze mening daarom ongeschikt voor de aardappelverwerkende industrie. alleen met veel voorzorgsmaatregelen geschikt te maken voor *continue* aardappelverwerking.

3.3.3.4 *Oxiderende desinfectie*

Bij droge chemische desinfectie zoals UV-ozon en atmosferisch plasma worden oppervlakken geoxideerd. De toplaag 'brandt weg' bij lage temperatuur (30-40°C is mogelijk). Dit zal endotoxinen verwijderen, kan bacteriën doden maar zal ook een effect hebben op de schil. Voor deze behandelingen moeten de aardappelen droog zijn, een laagje water absorbeert de werkzame stoffen. Ook moet het product schoon zijn, vuil reageert ook met de actieve stoffen, die daardoor de bacteriën niet meer kunnen bereiken.

Bij UV-ozon wordt eerst ozon aangemaakt in een aparte reactor en dat over het product geleid in een gesloten reactor. Ozon heeft een licht oxiderende werking,

die wordt versterkt door een bepaalde golflengte ultraviolet licht (UV) te gebruiken. Dit werkt alleen op zeer korte afstanden, wat bij ronde en ongelijke producten zoals aardappelen erg lastig is. Zowel UV als ozon is schadelijk voor mens en voor rubbers en andere materialen, hier is dus een dure reactor voor nodig.

Plasma is een bijzondere vorm van gas waarin de gasmoleculen gesplitst zijn in ionen en elektronen, waardoor allerlei reactieve gasdeeltjes ontstaan. De zon bestaat uit een zeer heet plasma. Op aarde is het met sterke elektrische velden mogelijk om 'koud' plasma te maken zelfs bij gewone luchtdruk (atmosferisch). Plasma is nu in ontwikkeling in de vorm van een pilotlijn voor het desinfecteren van peren, gericht op een reductie van sporen met een factor 100, tegen lage kosten (verwachting 0,1 cent/kg) en in minder dan 10 s. De effectiviteit is echter sterk afhankelijk van het feit of de endotoxinen zich OP of IN de schil bevinden. Plasma heeft een wat grotere werkingsafstand dan UV-ozon en brengt minder gezondheidsrisico's met zich mee, en is om beide redenen verre te prefereren boven UV-ozon.

3.3.3.5 *Fysische desinfectie*

Bacteriën kunnen ook worden gedood met straling (zowel ioniserende straling als gammastraling), hoge druk, en door pulsatie met elektrische of magnetische velden of luchtdruk. De werking van deze methoden is onvoldoende aangetoond en er zijn dure installaties voor nodig met bijbehorende veiligheidsmaatregelen. Voor een product met hoge toegevoegde waarde kan dat economisch rendabel zijn, voor aardappelen niet.

3.3.3.6 *Praktijk*

Er is weinig wetenschappelijke literatuur te vinden over desinfectie van aardappelen, en geen literatuur over het effect op hoeveelheden endotoxinen en blootstelling. Uitzondering is een conferentiepapier van de firma SAMRO (Steffen *et al.*, 2007), waar een combinatie van droge technieken wordt toegepast (borstelen, ozon-behandeling, UV-behandeling) waarna de aardappelen onder ozon worden opgeslagen in gekoelde, vochtige lucht. Het effect van deze combinatie in vergelijking met normale koude opslag is dat er vier in plaats van zes procent aardappelen verloren gaan door 'schade', en er 'zeer weinig' in plaats van 'weinig' microbiële schade is. Welke van de behandelingen daarin het effectiefst is, is onbekend. Volgens de auteurs wegen de baten wel op tegen de kosten.

Voor verkoop wordt dan een combinatie toegepast van wassen in ozon, ultrasoon-reiniging onder UV, behandeling in een UV-tunnel, wassen in geactiveerd water, opnieuw een UV-tunnel en dan verpakken onder stikstof met enig CO₂. Het effect van deze behandeling wordt niet beschreven.

3.3.3.7 Conclusie desinfecteren

Desinfectie om blootstelling aan endotoxinen te verminderen lijkt weinig zinvol. Desinfectie in water is vooral bedoeld om het proceswater niet al te veel te laten vervuilen. In een systeem waarin het water eenmalig wordt gebruikt voor naspoelen, is dat zinloos. Droge desinfectie kan pas worden toegepast na het droogproces en dat is zo laat in het gehele verwerkings- en dus blootstellingsproces dat desinfectie nauwelijks meer zin heeft (als de aardappelen worden opgeslagen of verpakt voor verkoop).

Desinfectie of opslag onder ozon met het doel minder product te verliezen kan wel zinvol zijn. Als men dit onderzoekt, kan men de effecten op endotoxineblootstelling indien wenselijk meten.

3.3.4 Viltmateriaal

Drogen van de aardappelen na wassen is essentieel om rot en uitgroei van bacteriën te voorkomen dan wel te beperken. Dat gebeurt nu in veel gevallen met een viltroger. Het vilt (of het schuim/foam) is in veel gevallen vervuild met endotoxinen (zie Figuur 3) en wordt maar één of enkele malen per jaar gereinigd of vervangen. Het is zeer waarschijnlijk dat het voortdurende vallen en 'stuiteren' van aardappelen op het vilt leidt tot blootstelling van de werknemers. Daarnaast is het vilt een (mogelijke) bron van herbesmetting van de schone aardappelen. Aangezien deze daarna overwegend handmatig worden 'gelezen', verhoogt dit waarschijnlijk de blootstellingsniveaus van deze medewerkers. Bij het reinigen van het systeem en het vervangen van het vilt worden werknemers zeker blootgesteld aan endotoxinen (Nakata, 1993).

Voor nieuwe productielijnen raden we het gebruik van de traditionele viltrogers af. Bij bestaande systemen zullen er maatregelen genomen moeten worden, met name gericht op reiniging dan wel regelmatig vervangen. Hieronder worden ideeën gepresenteerd die in een vervolgonderzoek nader uitgewerkt moeten worden om ze op hun effectiviteit te kunnen toetsen. Verder benadrukken we dat we geen volledig overzicht van leveranciers hebben nagestreefd.

3.3.5 Drogen zonder vilt

Luchtmessen zijn een energiezuinig alternatief voor viltrogers. Omgevingslucht wordt samenperst en via een mesvormige blaastuit (dus in een strook) over het product geblazen. Het meeste aanhangende water wordt zo van het product afgeblazen, zodat alleen een klein restant hoeft te verdampen. De Dyson handdroger werkt volgens hetzelfde principe. Ook in de aardappelverwerking is deze techniek bekend, bijvoorbeeld bij de firma's Jongejans,⁶ Almeco,⁷ en Sormac.⁸, onder andere voor het drogen van pootgoed. Voor het effectief kunnen

⁶ <http://jongejansluchttechniek.nl/systemen/luchtmes>

⁷ http://www.almeco.eu/fileadmin/DAM/Almeco_-_Luchtmes_Droogsystemen_-_Folder.pdf

⁸ <http://www.sormac.nl/nl/product/Ontwateringsband-OWB-60-82>

toepassen van deze techniek zijn grote volumes lucht nodig met bijbehorende kosten.



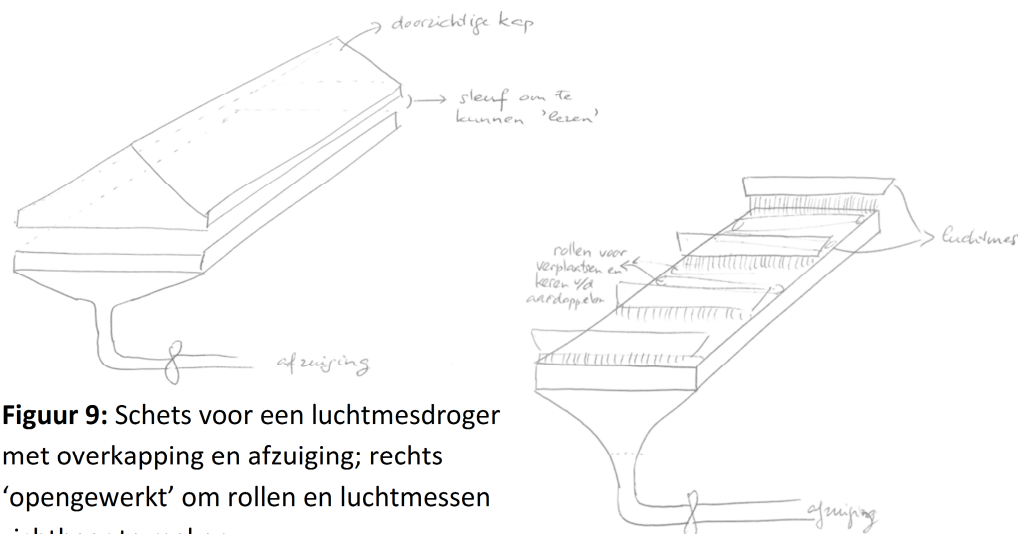
Figuur 8: Principe van een luchtmes

Er zijn veel firma's die ervaring hebben met luchtmesen. De website van de firma Deconsult geeft een heldere beschrijving van de werking van luchtmesen en de voor- en nadelen daarvan.⁹

Aandachtspunt is wel dat het luchtmes waterdruppeltjes in de lucht kan brengen. Ook die druppels zullen endotoxinen bevatten, zeker als er in de voorgaande processtap (vervuild) proceswater wordt gebruikt. Belangrijk is daarom (1) schoon en liefst koel water gebruiken, en (2) de druppels zo effectief mogelijk op te vangen (zonder doeken te gebruiken), bijvoorbeeld door onder de aardappelen de lucht af te zuigen. Voor een goede bescherming van het personeel is het essentieel dat er in totaal meer lucht wordt afgezogen dan er wordt aangevoerd met de luchtmesen. Om de afvoer van lucht en druppels goed te laten verlopen zal de band waarop de aardappelen rollen een open structuur moeten hebben. Net als bij huidige drogers is het belangrijk dat de aardappelen gedwongen worden te keren zodat ze aan alle kanten droog geblazen worden.

Om verspreiding van spetters, druppels en stof te voorkomen, moet er een kap over het geheel worden geplaatst die van een doorzichtig materiaal zoals plexiglas of lexaan is gemaakt. Als een sleuf van ongeveer 10 cm hoogte wordt opengehouden, is het mogelijk om tegelijkertijd te lezen: de aardappelen worden immers toch gekeerd en kunnen dus aan alle kanten worden bekeken. Hierbij moet het kunnen verwijderen van de 'foute' aardappelen natuurlijk niet worden vergeten. Nog idealer is het als de installatie in een gesloten ruimte wordt geplaatst waar geen personeel in hoeft en het lezen wordt geautomatiseerd.

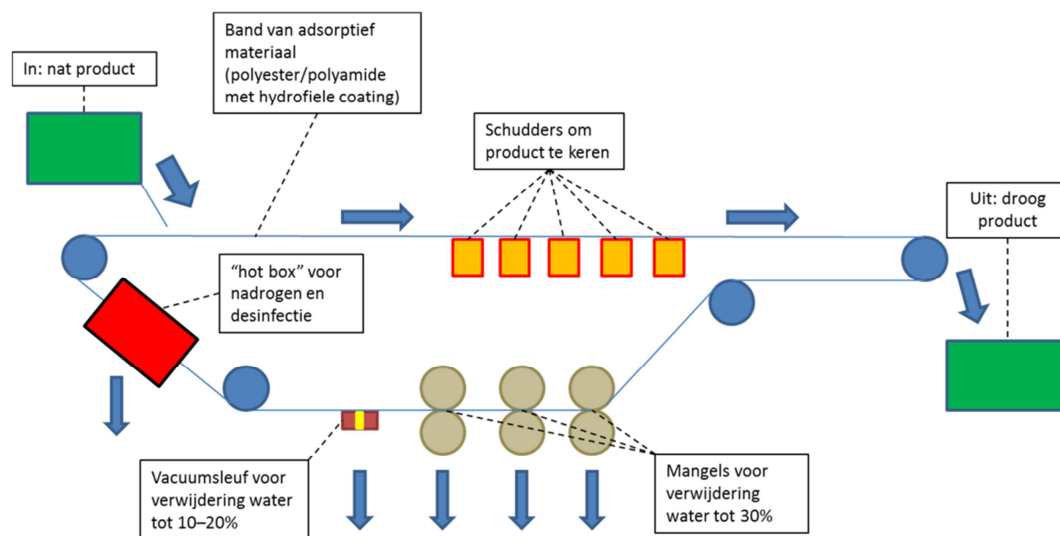
⁹ http://www.deconsult.nl/Tekst/el_luchtmes.htm



Figuur 9: Schets voor een luchtmesdroger met overkapping en afzuiging; rechts 'opengewerkt' om rollen en luchtmessen zichtbaar te maken

3.3.5.1 Drogen met schoon viltmateriaal

Een andere alternatieve methode is een viltdroger waarin het viltdoek meeloopt met de aardappelen en daarbij steeds door een aparte reinigingsinstallatie wordt getrokken. Dat kan bijvoorbeeld met water en detergent, waarna het vilt gespoeld en gedroogd zou moeten worden. Ook moet het gebruikte water worden gereinigd voordat het kan worden hergebruikt of afgevoerd. Een voorbeeld hiervan is uitgewerkt in Figuur 10.



Figuur 10: Schets van een installatie om viltdoek te circuleren en te reinigen en drogen.

Bij TNO is bandmateriaal ontwikkeld dat het water goed opneemt en dat antibacterieel kan worden gemaakt om in ieder geval de uitgroei van bacteriën te beperken. Voor deze installatie gelden verder dezelfde randvoorwaarden als genoemd in paragraaf 3.3.3 'Desinfecteren'.

Andere, minder geschikte geachte, opties zijn:

- Drogen met warme lucht, want dat stimuleert bacteriegroei en kost veel energie;
- Drogen met doeken of papier, want dat heeft dezelfde bezwaren als het vilt

3.3.5.2 *Bestaande systemen*

Als vervanging van bestaande viltdrogers economisch niet rendabel is, dan zijn er twee zorgpunten: (1) directe blootstelling van personen die dichtbij de viltdroger werken en (2) besmetting van de aardappelen met bacteriën en endotoxinen die mogelijk later vrijkomen.

Om directe blootstelling te beperken, lijkt de eenvoudigste oplossing het overkappen en afzuigen van het systeem (zie paragraaf 6.1 'Lucht reinigen'). Overkappen kan met eenvoudige middelen, zoals een zeildoek of perspex plaat of doos (deze laatste laten directe inspectie toe). Er zijn diverse luchtdroogsystemen in omloop, bijvoorbeeld door condensatie (wat wordt bereikt door koelen en comprimeren) en door adsorptie aan bijvoorbeeld zeolieten. Specialistische bedrijven kunnen hierin adviseren.

Minder geschikte opties zijn:

- Koelen van het hele systeem. Dat beperkt de groei van bacteriën maar is niet eenvoudig te bereiken en kost veel energie en dus geld.
- Natte reiniging van het vilt als de viltdroger stil staat. Deze oplossing kent een aantal problemen. Ten eerste is onzeker hoe vaak en lang de band stil staat. Zeker in tijden van drukte zal de band weinig en kort stilstaan, en de hele productie stil leggen vanwege mogelijke verhoogde endotoxinen-niveaus in de viltdroger lijkt geen realistisch scenario. Een ander probleem is dat de reiniging van stilstaand vilt vrijwel onmogelijk is. Vilt is een compacte structuur van fibers in vezels in draden in vilt, en zeker uit de binnenste structuren is lastig iets te verwijderen. Verder zou het vilt gedroogd moeten worden voor gebruik, waarvoor is dan weer bijvoorbeeld een luchtmes nodig is. Ten slotte, en misschien wel het belangrijkste: zodra er weer vuile aardappelen worden aangeleverd begint het gehele proces van voren af aan.
- Desinfecteren en reiniging van het vilt met plasma, ozon of vergelijkbare zaken. De indringdiepte van dergelijke technieken is onvoldoende en de effectiviteit wordt sterk beperkt door zand en kleideeltjes die de reinigende werking blokkeren.

3.3.6 *Inkapselen van het product*

Het is mogelijk om iedere aardappel apart in te pakken of in te kapselen in een laagje was of plastic om zo te voorkomen dat er endotoxinen vrijkomen. Maar aardappelen zijn levende producten, die CO₂ en warmte uitstoten en zuurstof

opnemen. Het effect van inkapseling op de bewaartermijn en kwaliteit van het product zal moeten worden onderzocht voordat inkapselen te overwegen is. Daarbij is het ook belangrijk na te gaan of de consument ingekapselde aardappelen acceptabel vindt. Ten slotte moet worden nagegaan of dit een kosteneffectieve methode is.

3.3.7 Verregaande afscherming van het productieproces

De blootstelling door feitelijk contact met het product zelf zal ook teruggedrongen moeten worden, evenals het vrijkomen van (nog) aanwezige endotoxinen in de lucht tijdens het verwerkingsproces, bijvoorbeeld bij het handmatig lezen (een voorbeeld is gegeven in Figuur 11). Een mogelijke toepassing hierbij is het soort 'flowkast' dan wel luchtmes-principe zoals beschreven in paragraaf 3.3.4.1 'Drogen zonder vilt' (zie ook Figuur 9).



Figuur 11: Lezen aan open transportbanden.¹⁰

Afgezogen systemen worden onder andere geleverd door Jongejans Luchttechniek.¹¹ Zij hebben ervaring in het verminderen van stof in ruimtes waar de uien- en bloembollen verwerkt worden door bijvoorbeeld compartimentering en puntafzuigingsystemen te installeren. Hier zouden metingen uitsluitsel kunnen geven over de effectiviteit van deze methoden voor vermindering van blootstelling aan endotoxinen.

3.4 Samenvatting selectie mitigatietechnieken aardappelen

Het is nodig om de blootstelling aan endotoxinen bij de verwerking van aardappelen te beperken met minimaal een factor 5 (80%) bij sorteren, reinigen en verpakken, tot een factor 100 (99%) bij verwerking tot maaltijden. De eerste stap daarbij is het zo snel en zo veel mogelijk beperken van de bronnen van endotoxinen. Een tweede mogelijkheid is het afscheiden van bron en medewerker. De drie belangrijkste bemeten bronnen en mogelijke maatregelen zijn hieronder genoemd. In alle gevallen geldt dat overleg met aardappelverwerkers en

¹⁰ <http://www.ercmachinery.com/?p&ercid=56&item=79>

¹¹ <http://jongejansluchttechniek.nl/agrarisch>

deskundigen nodig is om na te gaan welke van deze mogelijkheden pragmatisch toepasbaar zijn en in een vervolg getoetst kunnen worden.

1. Het product zelf en meekomend plant- en grondmateriaal; hier blijkt het product een zeer significante bijdrage te hebben. Aanhangende grond is een relevante bron van endotoxinen. De grond aan zandaardappelen bevat tien maal zoveel endotoxinen als die aan kleiaardappelen. Dat betekent dat bij de verwerking van zandaardappelen mogelijk extra maatregelen nodig zijn. Snel verwijderen van meekomend plant- en grondmateriaal reduceert de blootstelling met een factor 3, en soms meer, als de aangevoerde partij meer grond en plantresten bevat. Effectieve maatregelen kunnen zijn:
 - Stof afblazen tijdens overstort in afwezigheid van aardappelen
 - Droog borstelen in een afgezogen ruimte waar geen mensen komen
 - Automatisch sorteren en lezen als eerste processtap, waarbij ook rotte producten en plantresten worden verwijderd.
 - Sproeien en afspoelen met waterbesparende technieken
 - Wassen als eerste processtap, met naspoelstap met vers water met een waterbesparende techniek
 - Eventueel het verbeteren van de wasstap door megasone reiniging of door langdurigere reiniging, eventueel met warm water.
2. Het proceswater dat deels wordt gerecirculeerd. Dit is vermoedelijk bij de verwerking van aardappelen de belangrijkste bron. Mogelijk kan het proceswater bij recirculatie van endotoxinen worden ontdaan, maar dan nog zal het tijdens de processen zelf snel vervuild raken met endotoxinen van bacteriën die kapotgaan als gevolg van de verwerkingsprocessen. Hier helpt bronbestrijding niet, maar is het noodzakelijk een fysieke scheiding aan te brengen tussen proces en werknemers. Met andere woorden, een goede omkasting en afzuiging is nodig om hier de factor 100 reductie te veroorzaken die minimaal nodig is.
3. Materialen in het productieproces die lang vochtig blijven, met name het vilt in viltdrogers. Effectieve maatregelen kunnen zijn:
 - Drogen met luchtmessen in een afgezogen ruimte. Wellicht te combineren met een mogelijkheid voor handmatig lezen. Betrekkelijk duur vanwege de grote volumes lucht die nodig zijn
 - Drogen met een band van vilt die automatisch en voortdurend gereinigd en gedesinfecteerd wordt.
 - Het volledig omkassen en afzuigen van de huidige viltdroger is een alternatief voor bestaande viltdrogers.

Een vierde, niet nader onderzochte maar zeer waarschijnlijke, bron van blootstelling aan endotoxinen is het stof dat zich na verloop van tijd in de installaties en productieruimte opbouwt. Waarschijnlijk wordt de stofvorming al flink beperkt als bovenstaande maatregelen worden doorgevoerd. Dit stof bevat

endotoxinen, en door opwervelend stof (bijvoorbeeld door schoonmaakwerkzaamheden of rondrijdende heftrucks) kunnen deze weer in de lucht worden gebracht en daarmee leiden tot blootstelling. Regelmatige reiniging, liefst met een stofzuiger, schrobzuigmachine of handmatig klamvochtig of nat, is nodig. Bij vegen dient men een stofmasker te dragen (zie verder paragraaf 6.2 'Reinigen en desinfecteren van de productieruimten en machines').

Bij bijna alle oplossingen is luchtafzuiging nodig. Deze lucht mag niet (zonder meer) via een schoorsteen worden weggeblazen omdat het zoveel endotoxinen bevat dat het voor omwonenden een gezondheidsrisico kan vormen. De lucht bevat veel stof en vaak ook het nodige vocht. De meest aangewezen manier om de lucht te reinigen is een cycloon, die de grotere stofdeeltjes afvangt en verzamelt. Dit is het meest betaalbare filtersysteem en vergt nagenoeg geen onderhoud. Mocht de cycloon nog onvoldoende effectief blijken, dan kan een tweede unit met een elektrostatisch filter het reststof verwijderen. Om na te gaan of de cycloon effectief is, is het noodzakelijk te bepalen in welke stoffractie de aanwezige endotoxinen voornamelijk voorkomen, bijvoorbeeld meer in de fijne stoffractie (< 2 micrometer) of in de grove stoffractie (> 2 micrometer) (zie verder paragraaf 6.1 'Lucht reinigen').

Nagaan of in individuele gevallen (beheers)maatregelen nodig zijn, en onderzoeken hoe effectief deze (beheers)maatregelen zijn in de praktijk wordt sterk bemoeilijkt door de grote variatie in gemeten endotoxinen-niveaus en de dure en tijdrovende meetmethoden. Een mogelijk alternatief in de vorm van een direct-afleesbare monitor (sensor) is gepresenteerd en verdient nader onderzoek (zie verder paragraaf 6.4 'Monitoring (sensor)').

4 Mitigatietechnieken uienverwerkende industrie

4.1 Gemeten (persoonlijke) blootstelling

De blootstelling aan endotoxinen bij uienverwerking is meermalen gemeten (Tabel 7). Als de verwerking zich beperkt tot de processen 'lossen' tot en met 'verpakken' (zie Figuur 12), lijkt er in de periode tussen 2002 en 2006 al verbetering gerealiseerd te zijn. Maar de variabiliteit in het geometrisch gemiddelde van de metingen is hoog, en deze reductie kan dus ook daardoor veroorzaakt zijn (momentopname van metingen en/of 2 willekeurige bedrijven). Afhankelijk van het bedrijf wordt een operator blootgesteld aan zo'n 10 tot 100 keer meer endotoxinen dan de voorgestelde grenswaarde. Voor een technicus is dat veel lager: 4 tot 10 keer. Dit komt waarschijnlijk doordat operators continue bij de bron aanwezig zijn (product in beweging, veel stofvorming) en de technici waarschijnlijk alleen als de machines uit staan. Een reductiefactor van 100 tijdens het proces moet dus zeker nagestreefd worden.

Tabel 7: Gemeten waarden van endotoxinenblootstelling bij uienverwerking

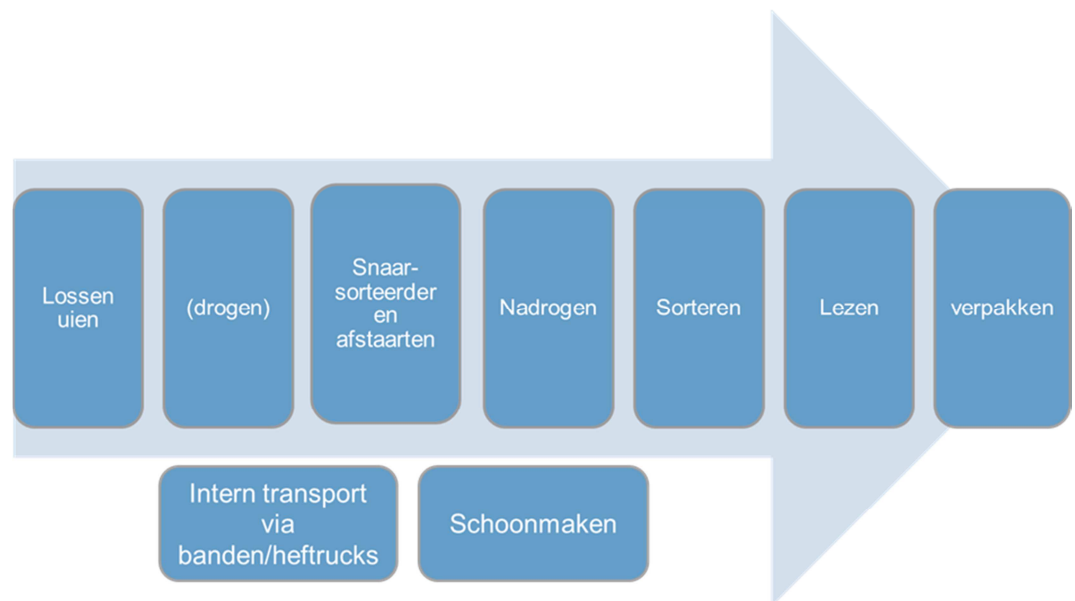
Jaar	Beschrijving	N	Inhaleerbaar stof GM (range) (mg/m ³)	Endotoxinen GM (range) (EU/m ³)
2002 ¹	Uienhandel	20	14,4 (6,7-35)	25930 (4025-191430)
	- Heftruckchauffeur	2	7,8* (7,0-8,3)	5000* (4025-5975)
	- Sorteerder	14	17,4* (9,2-35)	50536* (13280-191430)
	- Zakkenvuller	4	13,6* (6,7-16)	24398* (5353-59348)
2006 ²	Uienhandel – traditioneel			
	- Technicus	3		800
	- Heftruck chauffeur	1		4100
	- Verpakker	2		5300
	- Operator	6		10000
	Uienhandel – modern			
	- Technicus	2		380
	- Heftruck chauffeur	6		630
	- Verpakker	4		1100
	- Operator	15		1300
2010 ³	Uienhandel	9	8.2 (0,2-184)	5376 (63-26956)
	(2006)	(6)	(1.0 (0,2-4.4))	(540 (85-3385))

* AM in plaats van GM

¹ Spaan et al., 2002

² Smit et al., 2008b

³ Zaat, 2010

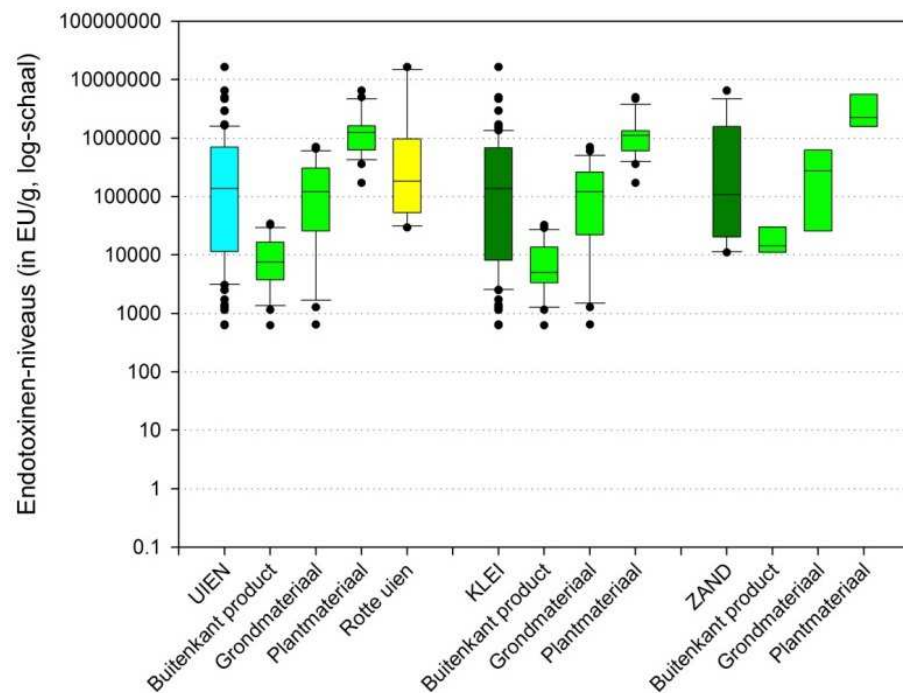


Figuur 12. Procesbeschrijving van een typisch verwerkingsproces voor uien

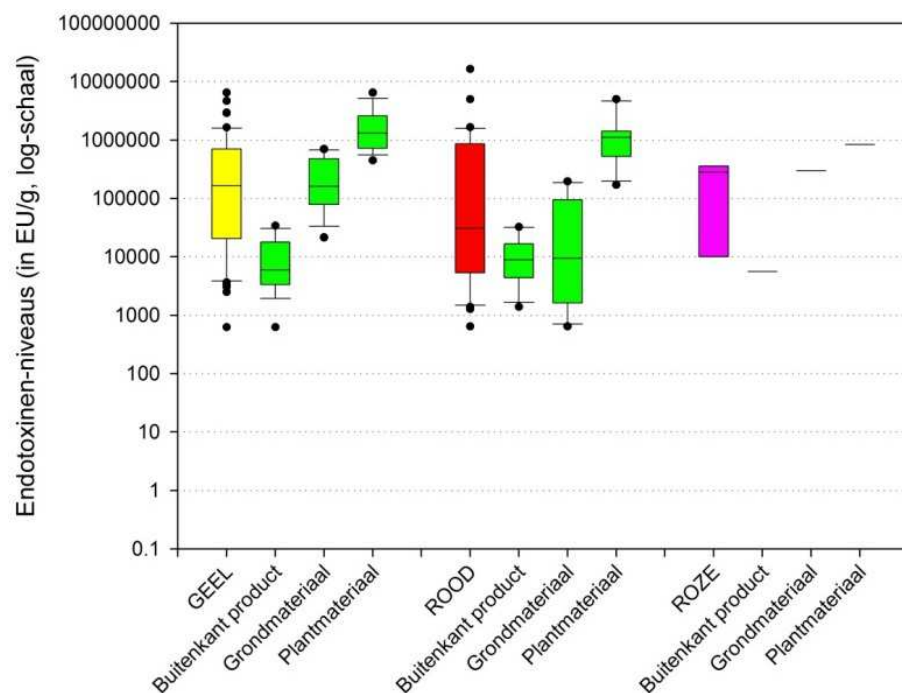
4.2 Gevonden endotoxinen-niveaus in en op uien

Stap 1 in de reductie van de inhalatoire blootstelling is het wegnemen van bronnen. In dit onderzoek is bepaald wat die bronnen kunnen zijn (Figuur 13 en 14). Dat waren het product zelf en de tarra daarbij zoals die worden aangevoerd naar de verwerkers. Tarra bestaat uit rotte uien, grote kluiten, losse grond en loofresten. De hoeveelheid tarra is door deelnemende bedrijven aangegeven als gemiddeld rond de 10 – 15%, waarvan een paar procent rotte uien is en de rest losse grond en loofresten.

Het soort ui (geel, rood en roze) is onderzocht in verband met de schilvastheid. In vergelijking met gele uien hebben rode uien een iets minder vaste buitenste rok, waardoor deze uien ook iets gevoeliger op de huid zijn. Het blijkt dat gemiddeld de hoogste niveaus endotoxinen worden aangetoond op gele uien (GM 125.400 EU/g), gevolgd door roze uien (GM 80.900 EU/g) en rode uien (GM 53.100 EU/g). Van gele uien is het bekend dat ze strakker in hun vel zitten. Rode uien hebben een losser zittend vel. Een verklaring voor het niveauverschil zou dus kunnen zijn dat de rode uien bij het drogen en lossen vóórdat de ui bij het verwerkingsbedrijf aankomt al de buitenste vellen verliezen.



Figuur 13: Overzicht endotoxinen-niveaus op productmonsters van uien – per soort monster en grondsoort



Figuur 14: Overzicht endotoxinen-niveaus op productmonsters van uien – per soort ui (schilvastheid) en soort monster

Echter, als er gekeken wordt naar de verschillende onderdelen van de rode en gele uien, blijkt dat de endotoxinen-niveaus op de producten vergelijkbaar zijn (8.200 EU/g respectievelijk 7.003 EU/g). De endotoxinen-niveaus van de rode zijn dus

zelfs iets hoger, maar dat het verschil tussen de rode en gele uien is waarschijnlijk vooral toe te wijzen aan het verschil in de niveaus van de staarten (960.214 EU/g respectievelijk 1397.503 EU/g). Dus heeft dit 'ontvellen' nauwelijks invloed op de gemeten niveaus. Een goede verklaring voor het verschil is niet gevonden.

Verder blijkt dat de endotoxinen-niveaus op productmonsters van zandgrond (GM 161.800 EU/g) over het algemeen hoger liggen dan de niveaus gevonden op monsters van kleigrond (GM 84.600 EU/g). Hierbij moet wel aangetekend worden dat er een beperkt aantal monsters van zandgrond is verzameld (14 versus 80 monsters en alleen gele uien), zodat de resultaten voor producten van zandgrond slechts als indicatief kunnen worden gezien. Het is bekend dat uien van zandgrond meer verweerd zijn en een meer zwarte kleur hebben. De zwarte kleur duidt met name op schimmels, maar samen zou het kunnen duiden op meer invloeden van micro-organismen. Het niveau endotoxinen in de grond verschilt daarentegen veel minder (257.000 EU/g respectievelijk 305.800 EU/g).

Verreweg de hoogste endotoxinen-niveaus zijn gevonden in monsters van staarten. Gezien het feit dat de staart van een ui redelijk vochtig is, werd er ook relatief veel groei van bacteriën in dit deel van de verwacht (relatief vochtige omgeving met voedingsbodem). Ook is de temperatuur in de afstaartruimte vaak redelijk hoog, wat gunstig is voor de groei van bacteriën. Echter, gezien de relatief korte verwerkingstijd en dus de korte verblijftijd van de uien in de afstaartruimte is additionele groei van bacteriën tijdens het verwerkingsproces niet heel waarschijnlijk op de uien. Echter, het kan wel van invloed zijn op de groei van bacteriën in het stof of staartresten op de grond. Daarom wordt aangenomen dat de groei van bacteriën, en daarmee het ontstaan van endotoxinen, tijdens de teelt, oogst en opslag voor verwerking de grootste invloed hebben op de hoeveelheid endotoxinen die aanwezig is op de uien die binnenkomen bij het verwerkende bedrijf.

Na de staarten zijn de endotoxinen-niveaus het hoogst in het grondmateriaal. Rotte uien bevatten ook veel endotoxinen, waarbij een aflandse ui de hoogste waarde vertoonde. Het zou kunnen zijn dat deze laatste relatief nat was, net als de staarten, en daarmee gevoelig voor bacteriegroei. De laagste niveaus zijn gemeten aan de buitenkant van het product zelf. De verhoudingen op basis van het geometrisch gemiddelde zijn grofweg 160 : 60: 10 : 1 (staart : rotte ui : grond : product).

De niveaus zijn aangegeven per gram materiaal, terwijl de endotoxinen zich voornamelijk aan het oppervlakte van de uien bevinden (ook tussen de losse schillen). Dus is er ook gekeken naar de verhouding van de endotoxinen-niveaus per oppervlakte-eenheid. Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Zand/grond zijn ronde deeltjes van 0,3 mm groot

- Uien zijn rond met een diameter van 5 cm (maal 2 voor 2 vellagen)
- De staarten zijn een balk van 5x2x2 cm
- Alle onderdelen hebben dezelfde dichtheid

De verhouding op oppervlakte basis wordt dan 160 : 60: 0,1 : 1 (staart : rotte ui : grond : product). Het verschil komt dus vooral tot uitdrukking in de verhouding met grond. Ook als de staarten kleiner zijn (bijvoorbeeld 5x1x1 cm) gaat de staart weliswaar minder hard meetellen (in dit geval 91), maar het niveau blijft nog steeds veel hoger dan het product zelf.

De concentratie EU per mg inhaleerbaar stof is te berekenen uit Tabel 7 en varieert van 641 tot 1800 EU/mg in 2002 tot rond de 650 EU/mg of 650.000 EU/g in 2010. Deze laatste is aan de bovengrens van de range van het bereik dat in dit onderzoek is gemeten in uien en aanhangend vuil. Echter, deze niveaus zijn niet direct vergelijkbaar, onder andere omdat 2010 een 'natter' jaar was dan 2002 waardoor er meer grond zat op de uien en omdat er een nieuwe productielijn was geopend. De relatie tussen de niveaus op het product en aanhangend vuil enerzijds en het vrijgekomen stof anderzijds hangt af van de homogeniteit van de verdeling van endotoxinen en de mate waarin deze vrijkomen op stof. De 25- en 75-percentielen van de niveaus zijn respectievelijk 11.538 en 69.9814 EU/g voor het product en aanhangend vuil. De hoogste waarde is $16,4 \cdot 10^6$ EU/g.

Als de niveaus van het aanhangend vuil (grondmateriaal) vergeleken worden met de niveaus die gevonden zijn die in Duits (huis)stof (Dusseldorp *et al.*, 2008), zijn de gevonden niveaus in grondmateriaal vergelijkbaar tot 2 keer hoger dan die gevonden in huisstof en een factor 10 lager dan de niveaus die zijn gevonden in stalstof (Tabel 8).

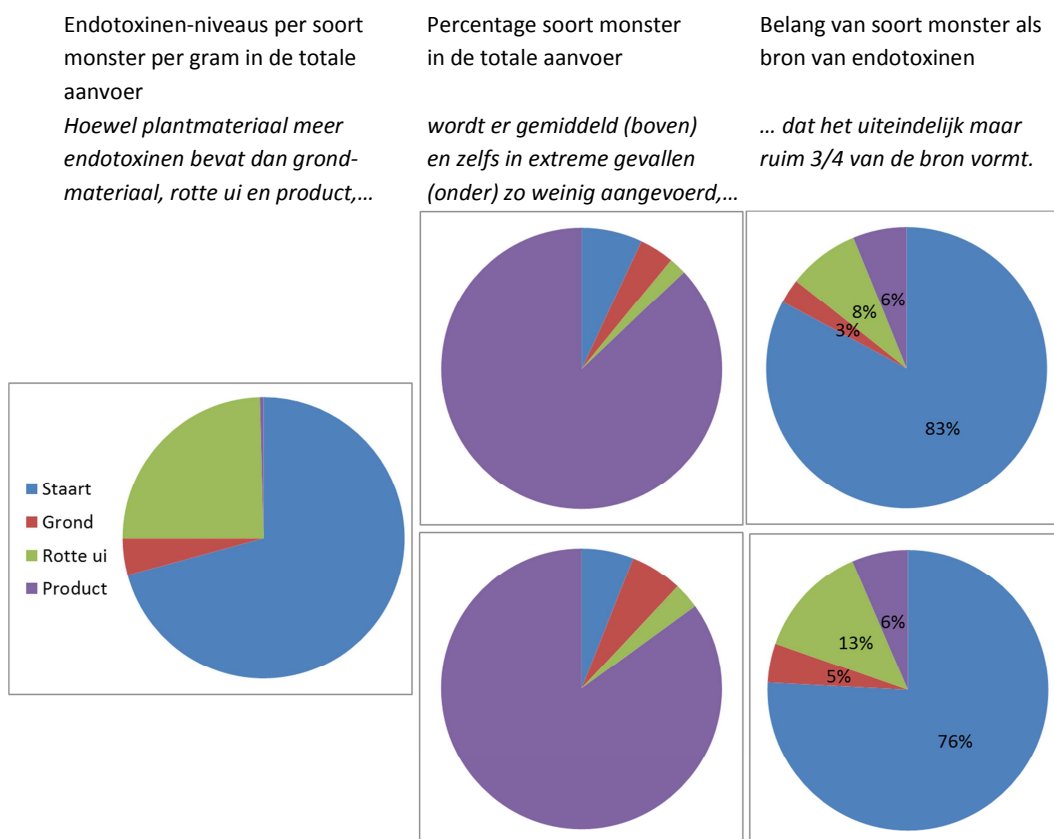
Tabel 8: Endotoxinen-niveaus in (huis)stof (Dusseldorp *et al.*, 2008)

Bron	Niveau (EU/g)
Huisstof in de woonkamer van een plattelandswoning in Duitsland	44.000
Huisstof in de woonkamer van een boerderij in Duitsland	143.000
Stalstof van een boerderij in Duitsland	649.000

In Figuur 15 is grafisch weergegeven hoe de verschillende soorten monsters bijdragen aan de totale aanvoer van endotoxinen van op klei geteelde uien. De grootste bron van endotoxinen is het plantmateriaal en dan specifiek de staarten. Ook de invloed van de niveaus tussen verschillende uien lijkt vooral te komen van de niveaus gevonden in de staarten. Daarnaast had een aflandse ui een zeer hoog niveau endotoxinen. Dit zou betekenen dat er als eerste stap 2 richtingen zijn om de (persoonlijke) blootstelling te reduceren / minimaliseren:

1. Gedroogd product aanvoeren, deels wordt dit al gedaan
2. Zo snel mogelijk afstaarten in de afwezigheid van medewerkers en vermijding van contact tussen hen en de staarten

Als de volgende verhouding van aangevoerd materiaal wordt aangehouden: 3% rotte uien, 6% grond, 6% plantmateriaal en 85% product, dan blijkt dat er een reductiefactor van 3 tot 5 mogelijk is door het volledig verwijderen van de staarten (zie Tabel 9).



Figuur 15: Relatieve hoeveelheden endotoxinen per productonderdeel (productmonsters uit uiensector) (plant / grond / product).

Tabel 9: Mogelijke reductie door vroegtijdig afstaarten

Omschrijving	GM Endotoxinen [EU/ g totaal aangevoerd]	GM Endotoxinen [EU/ g totaal aangevoerd – staarten]	Reductiefactor [-]
Klei	80.235	20.675	4
Zand	181.830	26.160	7
Geel	105.878	23.478	5
Rood	86.070	30.333	3
Roze*	73.905	25.608	3

* AM gebaseerd

Deze reductie is nog veel te weinig ten opzichte van de gewenste factor 100. Als ook de grond verwijderd wordt, ontstaat het volgende beeld:

3. Verwijdering grond

Als de volgende verhouding van aangevoerd materiaal wordt aangehouden: 3% rotte uien, 6% grond, 6% plantmateriaal en 85% product, dan blijkt dat er een reductiefactor van 3 tot 11 mogelijk is door het volledig verwijderen van de staarten en het grondmateriaal (zie Tabel 10).

Tabel 10: Mogelijke reductie door vroegtijdig afstaarten + grondverwijdering

Omschrijving	GM Endotoxinen [EU / g totaal aangevoerd]	GM Endotoxinen [EU / g totaal aangevoerd – staarten – grond]	Reductiefactor [-]
Klei	80.235	16.789	5
Zand	181.830	17.939	10
Geel	105.878	12.538	8
Rood	86.070	29.604	3
Roze*	73.905	6.573	11

* AM gebaseerd

Ook deze reductie is nog niet voldoende. Dit betekent dat de oplossing ook zeer zeker gezocht moet worden in de reductie van blootstelling van de medewerkers aan het product zelf. Deze conclusie wordt ondersteund door de zeer hoge blootstellingswaarden die zijn gemeten bij de sorteerdere (zie Tabel 7).

Mede daarom zijn er nog een vierde t/m zesde reductierichting geïdentificeerd:

4. Voorkoming van blootstelling aan restanten van het product zoals losse vellen door in een vroeg stadium te ontvellen
5. Verwijdering endotoxinen van het product
6. Voorkoming/minimalisatie van blootstelling aan het product zelf

4.3 Mogelijke maatregelen

4.3.1 Gedroogd product aanvoeren en detectie van rotte uien

Het lijkt logisch dat door de uien zo snel mogelijk na de oogst te drogen, de groei van bacteriën wordt onderdrukt, en daarmee ook de hoeveelheid aanwezige endotoxinen op het moment dat de bacteriën afsterven. Deze hypothese zou moeten worden gecheckt, maar als het waar is, is het aan te bevelen de uien gedroogd aan te voeren bij het verwerkende bedrijf.

Dit drogen kan het beste gebeuren in een goed geventileerde ruimte om eventuele vrijkomende endotoxinen direct af te voeren. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor het veroorzaken van blootstelling de vrijkomende endotoxinen wel eerst in de lucht moeten komen, bijvoorbeeld als onderdeel van stofdeeltjes. De toepassing van ventilatie is ook van invloed op de endotoxinen die zich in de lucht bevinden. Het is dus ook aan te bevelen alle uien voor verwerking bijvoorbeeld

standaard één week in te schuren om te drogen. Daarbij kan nog een verbeteringsstap aangebracht worden in de vorm van een grove voorsortering, waarbij rotte uien direct verwijderd worden en dus niet worden ingeschuurd. Een mogelijkheid daartoe is een 'leesstap' bij het overstorten van de oogstwagen naar de schuur, dan met detectie van rotte uien, bijv. door middel van monitoring. Er is een apparaat op de markt dat de rotting van aardappelen kan monitoren, de Lonestar Portable Analyzer van de firma Owlstone in het Verenigd Koninkrijk (zie ook paragraaf 6.4 'Monitoring (sensor)'). Dit apparaat kan de vluchtige componenten die geassocieerd worden met bacteriën die rotting veroorzaken in de lucht waarnemen. Dit apparaat zou gebruikt kunnen worden om direct na oogsten de rotte uien te identificeren en daarna te verwijderen om verdere bacteriegroei te minimaliseren.

Bij de aanvoer zelf is het aan te bevelen goed te ventileren om blootstelling van medewerkers te minimaliseren. Ventilatie is nog te versterken met luchtmessen of andere sterke luchtstromen (zie voor details de paragrafen 3.3.6 'Vergaande afscherming van het productieproces' en 6.1 'Lucht reinigen').

4.3.2 Direct afstaarten met afscherming

Het is aan te bevelen de staarten zo vroeg mogelijk in het proces te verwijderen. Zoals in de procesbeschrijving te zien is, gebeurt dit al. Hier valt dus in principe weinig te winnen. Het wordt echter wel aanbevolen om de optionele droogstap pas *na* het afstaarten plaats te laten vinden, omdat anders de in de staart aanwezige bacteriën door het drogen kunnen/zullen afsterven waardoor de endotoxinen-niveaus zullen stijgen. Ook geniet een afstaart-methode die de staart er niet aftrekt de voorkeur. Als de staart er afgetrokken wordt, is de kans op beschadiging van de ui groter en zal er meer materiaal 'in het rond vliegen' waardoor blootstelling hieraan ook verhoogd wordt. Verder is de kans op afscheuren en beschadigen groter bij vochtige uien. Dus een combinatie van droog materiaal aanvoeren en de juiste afstaart-machine, die ook afgeschermd is dan wel in een goed geventileerde ruimte staat, zal resulteren in een werkomgeving met een lagere endotoxinen-concentratie.

Een voorbeeld van een afstaartmachine die geschikt zou zijn, is die van Holaras (zie Figuur 16). Van hun website: "Bij de –Holaras- uienafstaartmachines wordt het loof (de staarten) er niet afgetrokken, maar door snel draaiende messen afgesneden. Speciale trilmotoren brengen met een gericht aantal trillingen de trilzeven in beweging. De uien worden als het ware zwevend boven de (tril)zeven getransporteerd. Door het hoge toerental en de speciale vorm van de messen ontstaat een sterke luchtstroom. Daardoor worden de uienstaarten tussen de spijlen van de trilzeef gezogen en door scherpe messen net onder de zeef afgesneden. Alle uitvoeringen afstaartmachines zijn leverbaar met gesloten luchtcirculatie en afvoerband."

contact van de werknemers hiermee moet uiteraard ook vermeden worden. Een gesloten afvoersysteem heeft hierbij de voorkeur. Hierbij kan worden gedacht aan een vizelsysteem zoals al bij minimaal een van de deelnemende bedrijf in gebruik is.

Tabel 11 vat de voor- en nadelen van de diverse methoden van afstaarten samen.

Tabel 11: Trade-off methoden voor afstaarten

Methode	Effectiviteit	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel
Afstaarten algemeen	Reductie bron tot 5 keer			Bestaande techniek
Afstaarten door snijden in afgesloten systeem	Reductie blootstelling tot 5 keer	minimaal	Iets hoger dan regulier systeem, verbouw waarschijnlijk mogelijk	Aan te bevelen
Automatisch scheerstaarten (precisie afstaarten)	Zeer hoog. Ook door vermindering losse bronnen	minimaal	Nog te hoog door te lage doorzet	Doorontwikkeling nodig. Dan betere optie dan snij-afstaarter

4.3.3 Grondverwijdering

De afschattingen in paragraaf 4.2 lieten zien dat het verwijderen van grond vooraan in het proces de blootstelling zou kunnen verminderen. De aanname in dit onderzoek is dat er geen aparte grondverwijderingsstap nodig is, maar dat met het verwijderen van de staarten (paragraaf 4.3.2) en de losse vellen (paragraaf 4.3.4) vroeg in het proces ook het aanwezige grondmateriaal verwijderd wordt.

4.3.4 Afscherming van restanten van het product: ontvellen

Het is zeer waarschijnlijk dat de endotoxinen die zich op de buitenkant van de uien bevinden zich voornamelijk op de 'losse schillen' bevinden en/of op het grondmateriaal dat zich op of tussen de schillen bevindt. Zo bleek uit de pilot van dit project dat er geen endotoxinen werden gevonden in het binnenste van een ui.

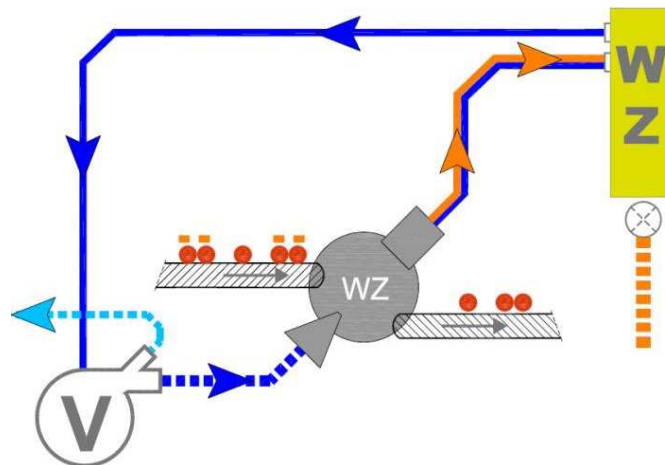
Dus heeft het de voorkeur, om naast het verwijderen van de staarten en grond, ook zo snel mogelijk na ontvangst zoveel mogelijk de aanwezige 'losse vellen' te verwijderen. Het afschermen van de medewerkers van losse vellen, die bijvoorbeeld op de grond vallen tijdens het verwerkingsproces (zie Figuur 18) en doordat rondrijdende heftrucks ook voor opwervend stof zorgen, zal een reductie in blootstelling betekenen. Bovendien zal het loslaten zelf

geminimaliseerd worden als de meest losse vellen al direct verwijderd worden. Daarnaast zal regelmatig schoonmaken, minimaal eens per dag, ook de blootstelling reduceren mits dit gebeurt met een mondkapje. Handen en gezicht moeten naderhand grondig gewassen worden met water en zeep. De mate van reductie is moeilijk af te schatten, dus een veldtest zal hier uitsluitend moeten geven.



Figuur 18: Losse vellen

Er zijn diverse methoden te bedenken om de min of meer losse uienvellen te verwijderen. Te denken valt aan blazen/windziften, wassen, borstelen of plakken. Windzifting gebruikt een geforceerde luchtstroom om de ui van het restmateriaal te scheiden (zie Figuur 19). De luchtstroom neemt de lichtere vellen (oranje) mee terwijl de zwaardere uien (rood) doorlopen op de transportband.



Figuur 19: Schema van windziften (Flow-sheet WindZifter WZ-S-CL).¹⁴

Kleefmatten zijn gebaseerd op het principe dat vuil aan het product aan de mat blijft kleven waarna het product geschoond verder gaat. Informatie over kleefmatten is bijvoorbeeld te vinden bij Curtain Wall.¹⁵

¹⁴ <http://www.modesta.nl/agro/windzifting/>

¹⁵ <http://www.curtain-wall.nl/toepassingen/oplossingen/tackmat-fijnstofmat>

Bij trilapparatuur wordt het product heftig bewogen zodat los vuil er vanaf valt. Trilapparatuur wordt bijvoorbeeld geleverd door VDL,¹⁶ Akerboom,¹⁷ of Invicon.¹⁸

Borstelen zou ook een goede methode kunnen zijn om vellen te verwijderen. Bij specifieke bloembollen wordt al geborsteld om los zand en stengels te verwijderen¹⁹. Wellicht is de borstelkracht zo af te stellen dat ook de buitenste losse vellen van uien verwijderd worden. De borstelmachine zou dan afgesloten moeten zijn en vellen direct afgevoerd/opgevangen zodat blootstelling aan de vellen van medewerkers geminimaliseerd wordt. Een andere optie is om een borstelstap te integreren in de afstaarter, bijvoorbeeld in het aanvoersysteem.

ERC machinery is bezig met een OnionPeelRobot (zie Figuur 20). Hiervan zijn nu 6 prototypes in gebruik. Deze machine pelt de ui kaal en is dus niet direct geschikt voor verpakkers. Maar als de ui verder verwerkt wordt, is dit wel een geschikte techniek. Mogelijk is ook deze techniek aan te passen zodat alleen het buitenste losse vel verwijderd wordt waarmee de techniek meer universeel toepasbaar wordt in de uienbranche.



Figuur 20: OnionPeelRobot van ERC machinery.²⁰

Hieronder worden de verschillende methoden voor het verwijderen van losse vellen tegen elkaar afgewogen (zie Tabel 12). Bij het bepalen van het eindoordeel zijn de weegfactoren zoals door de uienbranche aangegeven meegenomen. Deze waren 27% voor effectiviteit, 33% voor schade, 20% voor financiële aspecten en 20% voor de overige factoren.

Tabel 12: Trade-off methoden voor velverwijdering.*

Methode	Effectiviteit	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel
Blazen / Windziften	Onbekend, krachtige	Minimaal, risico op volledige vel-	Extra stroom en infra-	Zou een optie kunnen zijn, zeker als

¹⁶ <http://www.vdlinustrialproducts.com/?page/3527472/Trilapparatuur.aspx>

¹⁷ <http://www.akerboom.nl/Speciaalmachines/09Trilzeef/Trilzeefindex.html>

¹⁸ <http://www.invicon.nl/index.htm>

¹⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=FEWAjCmaoIU>

²⁰ <http://www.ercmachinery.com/?p&ercid=50>

Methode	Effectiviteit	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel
	stroom nodig	wijdering	structuur	gecombineerd zou kunnen worden met overstortstap. In ontwikkeling bij Modesta en uiensector. ²¹
Wassen		Te veel		Ongeschikt
Borstelen	Groot	Kaalte kan geminimaliseerd worden door afstelbare borstels		Veelbelovend. Wellicht kunnen machines voor bloembollen aangepast worden.
Plakken	Groot, mits meerdere stappen	Risico, vermijd contact kleefmat met ontveld product	Vervanging kleefmat, zal veelvuldig nodig zijn	Tweede keus vanwege risico op schade en grootverbruik matten. Richtprijs matten: 500 euro voor 240 stuks.
Trillen	Beperkt	Minimaal	Minimaal, uitbreiding bestaande transport-banden	Te weinig effectief

* Ongeschikte methoden staan vermeld in grijs

4.3.5 Reinigen van het product (verwijderen of onschadelijk maken endotoxinen)

Endotoxinen zijn water-oplosbaar en dus door wassen van het product te verwijderen. Omdat in verband met schimmelvorming uien echter niet vochtig (en dus ook niet nat) mogen worden tijdens het verwerkingsproces, vallen alle natte processen (zoals bijvoorbeeld beschreven in de paragrafen 3.3.2 'Wassen (natte technieken)' en 3.3.3 'Desinfecteren') bij voorbaat in principe af voor detoxificatie van uien zelf. Mogelijk is er wel iets te doen tijdens de stap van kort koken op 42°C wat nu al gebeurt met biologische uien. Echter, deze stap moet kort blijven om de temperatuur van de uien zelf beneden de 30°C te houden. Dit beperkt de mogelijkheden voor een additionele functie danig. Bovendien verplaatst het probleem zich dan naar het water. Daarom wordt deze optie als te bewerkelijk geoormerkt ten opzichte van de andere technieken.

De natte technieken zouden hooguit gebruikt kunnen worden voor de detoxificatie van afvalproducten zoals de vellen, maar hiervoor lijkt afschermen en afvoeren een simpelere en effectieve methode.

²¹ <http://www.modesta.nl/agroprojecten-argoproject-11121-uien-affeldt>

Voor desinfectie met afbreekbare stoffen in gas en fysische desinfectie gelden dezelfde nadelen als bij aardappelen, (zie respectievelijk paragrafen 3.3.3.3 'Desinfectie met afbreekbare stoffen in gas' en 3.3.3.5 'Fysische desinfectie'): problemen met gasdichtheid en relatief lage toegevoegde waarde van het product. Oxiderende desinfectie (zie ook paragraaf 3.3.3.4 'Oxiderende desinfectie') door UV-ozon heeft ook dezelfde nadelen alhoewel uien uniformer zijn qua vorm en per definitie droog. De effectiviteit zal dus hoger zijn dan bij aardappelen. Echter, het risico van UV en ozon blijft een probleem waardoor hoge kosten voor afscherming nodig zijn. Plasma desinfectie heeft meer potentie, maar waarschijnlijk zijn alsnog hier de kosten mogelijk te hoog terwijl de effectiviteit ten opzichte van productschade een risicofactor is. Ook alle inkapselmethoden vallen af vanwege het ontvellen van de ui, zelfs als de meest losse vellen verwijderd zijn. Tabel 13 vat de overwegingen voor de diverse desinfectie technieken samen.

De firma Akerboom fabriceert van oudsher allerlei verwerkingsapparatuur voor de bloembollen- en plantui-verwerkende industrie. Ze lijken zich gespecialiseerd te hebben in ontsmettingslijnen.²² Het is echter onbekend welk effect deze techniek heeft of zou kunnen hebben op de endotoxinen-niveaus zoals aanwezig op het product c.q. de blootstelling van werknemers aan endotoxinen, en dit vraagt dan ook nadere verificatie.

Tabel 13: Trade-off methoden voor reiniging / desinfectie / onschadelijk maken.*

Methode	Effectiviteit	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel
Wassen		Hoog		Ongeschikt
Natte desinfectie		Hoog		Ongeschikt
Desinfectie met gas	Groot op bron-reductie. Risico op blootstelling gassen	Laag		Ongeschikt
UV-ozon	Laag	Risico	Hoog door afscherming	Minder geschikt
Plasma	Goed	Risico	Substantiele investering, lage OPEX	Optie, maar niet direct aan te bevelen
Fysische desinfectie	Onbekend	Laag	Zeer hoog	Ongeschikt
Inkapselen	Nihil door vervellen	Nihil	Laag	Ongeschikt

* Ongeschikte methoden staan vermeld in grijs

²² <http://www.akerboom.nl/machine/ontsmetten-bloembollen.asp>

4.3.6 Vergaande afscherming van het product

De blootstelling door feitelijk contact met het product zelf zal ook teruggedrongen moeten worden, evenals het vrijkomen van (nog) aanwezige endotoxinen in de lucht tijdens het verwerkingsproces, bijv. bij het handmatig lezen (zie voor voorbeeld Figuur 21).



Figuur 21: Open transportbanden in de leesruimte.²³

Bij lezen kan gedacht worden aan een soort flowkast waarbij er continue lucht van bovenaf over het product geblazen wordt en aan de onderkant afgezogen zoals eerder gepresenteerd in Figuur 9 in paragraaf 3.3.4.1 ('Drogen zonder vilt'). Hierdoor kan er nog steeds handmatige gelezen worden met een minimale blootstelling aan het product.

Afgezogen systemen *an sich* worden onder andere geleverd door Jongejans Luchttechniek.²⁴ Zij hebben ervaring in het verminderen van stof in de ruimtes waar de uien- en bloembollen verwerkt worden door bijvoorbeeld compartimentering en puntafzuigingsystemen te installeren. Hier zouden metingen uitsluitsel kunnen geven over de effectiviteit van deze methoden voor vermindering van endotoxinenblootstelling.

In 2012 is er een volledig geautomatiseerde uienverwerkingslijn neergezet door Van der Hees Machinery bij Quallium Onions in Tollebeek (zie Figuur 22).²⁵ Deze lijn is tot stand gekomen met subsidie van de EU.²⁶ Hij is voorzien van allerlei optische snuffjes om de ui van binnen en van buiten te bekijken en daarna te sorteren naar kwaliteit en grootte. Groot voordeel van deze lijn is dat veel processtappen uitgevoerd worden zonder aanwezigheid van medewerkers. Hiermee wordt de persoonlijke blootstelling aan endotoxinen zeer sterk gereduceerd. Er is nog wel een leeskamer waar handmatig wordt gelezen onder het motto 'vertrouwen is goed, maar controle is beter'. Als deze lijn nog steeds in

²³ <http://www.ercmachinery.com/?p&ercid=56&item=79>

²⁴ <http://jongejansluchttechniek.nl/agrarisch>

²⁵ <http://www.vanheesmachinery.nl/producten/quallium>

²⁶ <http://www.subvention.nl/specialismen/innovatie/projecten-innovatie/subsidie-voor-de-ontwikkeling-van-een-innovatieve-uienverwerkingslijn/>

gebruik is (er is in principe een contract aangegaan voor 5 jaar), zou het een ideale locatie zijn om blootstellingsmetingen te doen naar de niveaus van endotoxinen in de lucht en de mate van blootstelling tijdens verschillende onderdelen in het proces en specifiek in de leeskamer. Deze zouden dan idealiter wel vergeleken moeten kunnen worden met blootstellingsdata van voor de installatie van de uienverwerkingslijn, zodat er een uitspraak over de effectiviteit van deze installatie.



Figuur 22: Volledig geautomatiseerde lijn bij Quallium Onions.²⁷

4.4 Samenvatting selectie mitigatietechnieken uien

Het is nodig om de blootstelling met een factor 10 (voor technici) tot een factor 100 (voor operators) te verlagen om de persoonlijke blootstelling van werknemers in de uienverwerkende industrie zodanig te verminderen dat de voorgestelde grenswaarde van 90 EU/m³ wordt gehaald. Over het geheel moet dus tijdens het gehele verwerkingsproces een reductiefactor van 100 worden nagestreefd.

In Tabel 14 wordt de trade-off van alle geëvalueerde mitigatietechnieken samengevat. Bij het bepalen van het eindoordeel zijn de weegfactoren zoals door de uienbranche aangegeven meegenomen. Deze waren 27% voor effectiviteit, 33% voor schade, 20% voor financiële aspecten en 20% voor de overige factoren.

In het algemeen geldt dat er moet worden gestreefd naar een zoveel mogelijk gesloten systeem, waar zo min mogelijk werknemers bij aan te pas komen. Ook het aanvoeren van voorgedroogde uien waarbij eventueel de rotte uien verwijderd zijn, waardoor verdere verspreiding van bacteriën onderdrukt wordt, zal een reductie van de endotoxine bron betekenen. Ook moet men zich realiseren dat het verwerken van de reststromen (als in de verwijderde staarten en vellen, of de

²⁷ http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=sqzfy8U8iOA

afgezogen lucht) een bijkomend risico met betrekking tot blootstelling vormen, waarmee dus ook zorgvuldig moet worden omgegaan.

Tabel 14: Trade-off van toepasbare mitigatietechnieken in de uienverwerkende industrie.*

Methode	Effectief als bronbeperking	Effect op blootstelling	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel	Opmerkingen
Gedroogd aanvoeren	Deels	Omkappen of isolatie noodzakelijk	Nihil	Minimaal	Eerste keus	
Stof afblazen	Nihil	Sterke reductie bij goede ventilatie	Geen grote effecten	Honderden euro's	Tweede keus	Vooral voor reductie blootstelling
Wassen	NVT	NVT	Groot risico	NVT		
Bevriezen	Nihil	Waarschijnlijk sterke reductie	Groot risico			
Inkapselen	Nihil als er nog vellen los kunnen laten					
UV-ozon	Beperkt		Risico	Hoog		
Plasma	Groot	Groot	Risico	Substantiële investering, lage OPEX	Derde keus	
Afstaarten	Geschat op factor 5	Significant in afwezigheid van medewerkers		Minimaal extra	Eerste keus	
Scheerstaarten i.p.v. afstaarten	Geschat op ietsje meer dan factor 5	Significant door bronbeperking	Klein risico	Andere machine	Tweede keus	Bestaande techniek met een nog te lage doorzet
Ontvellen door windziften	Onbekend, potentie is er voor geschatte factor 10	Ruim, overal in proces	Klein risico	Extra stroom en machine	Tweede keus	In ontwikkeling
Ontvellen door borstelen	Groot, potentie factor 10	Ruim, overal in proces	Risico op kale ui of juist te weinig effectiviteit		Derde keus	

Methode	Effectief als bronbeperking	Effect op blootstelling	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel	Opmerkingen
			t. Minimaliseren door juiste afstelling			
Ontsmetlijn	Potentie als endotoxin en ook gereduceerd	onbekend	Minimaal	Extra machine	Derde keus	Bestaande machine Akerboom
Automatisch Lezen	Nihil	Omkappen of isolatie noodzakelijk, dan zeer effectief. Optimaal tot aanvaardbare niveaus.	Nihil	Meer stroom, meer en nieuwe machines, minder mensen	Eerste keus	Zie voorbeeld bij Quallium Onions

* Ongeschikte methoden staan vermeld in grijs

Het gecombineerde effect van alle bovengenoemde maatregelen is moeilijk in te schatten. Door middel van een combinatie van afstaarten en grond verwijderen wordt in potentie een factor 10 reductie verwacht. Dit is nog onvoldoende omdat een factor 100 gewenst is. Gezien de hoge gemeten persoonlijke blootstellingsniveaus aan endotoxine van medewerkers die in direct contact komen met de uien (operators) en het grote aantal werknemers dat betrokken is bij het 'lezen' van de uien, is de verwachting dat na het afstaarten in combinatie met grondverwijdering door middel van ontvellen (met behulp van een gesloten machine) en het automatiseren van het leesproces in potentie de blootstelling verder te reduceren, in het optimale geval tot acceptabele niveaus.

Het is daarom zeker aan te bevelen in een vervolgstudie te kijken naar de totale effectiviteit van de maatregelen.

5 Mitigatietechnieken zaadverwerkende industrie

5.1 Gemeten (persoonlijke) blootstelling

De variabiliteit van de persoonlijke blootstelling in gemeten endotoxinenconcentraties in zaadverwerkende bedrijven is erg groot (zie Tabel 15). Er zijn (gemiddelde) concentraties gemeten van enkele honderden EU/m³, maar ook van vele tienduizenden EU/m³. Tijdens de verwerking van graszaad zijn in het verleden relatief hoge concentraties gemeten. Dit kan te maken hebben met de grootschaligheid van de processen in deze subbranche (verwerking van grote batches zaad; bulkverwerking). In algemene zin kan worden gesteld dat de meetgegevens erop lijken te wijzen dat de hoogte van de gemeten endotoxinenblootstelling afneemt naarmate het verwerkingsproces verder vordert: het hoogst tijdens de ontvangst en het storten van de zaden, lager in de omgeving van de schoningsmachines, en nog lager bij de verpakkingslijnen.

Tabel 15: Literatuurgegevens blootstelling endotoxinen in zaadverwerkende bedrijven

Jaar	Beschrijving	N	Inhaleerbaar stof GM (range) (mg/m ³)	Endotoxinen GM (range) (EU/m ³)
1999 ¹	Graszaad – kwaliteits-inspectie lab	4	-	88.000 (33.000-274.000)
2000 ¹	Gras- en maiszaad (1)	5	0,9 (0,2-1,9)	600 (200-1.700)
	Graszaad (1)	6	5,4 (3,1-9,0)	3.700 (1.800-6.100)
2001 ²	Gras- en maiszaad (1)	12	1,0 (0,1-98,0)	600 (10-51.000)
	Gras- en maiszaad (2)	11	2,6 (1,0-13,3)	3.400 (600-18.000)
	Graszaad (2)	15	1,5 (0,1-17,2)	2.900 (200-10.000)
	Graanzaad (1)	2	4,0 (3,0-5,5)	3.600 (1.700-7.500)
	Groentezaad (1)	10	1,0 (0,2-14,4)	600 (40-10.000)
	Groentezaad (2)	14	0,9 (0,2-12,7)	700 (100-22.000)
	Groentezaad (3)	16	1,0 (0,1-5,3)	1.000 (30-42.000)
2002 ¹	Graszaad, onderzoeksinstituut	6	16,1 (10,4-34,7)	41.000 (19.000-80.000)
2002 ³	Akkerbouwer, graanoogst	3	0,7* (0,3-1,2)	2791* (1032-5791)
2006 ⁴	Groentezaad			
	- lab	2		22
	- verpakking	2		25
	- teler	2		36
	- operator	5		280
2000 – 2003 ⁵	Zaadverwerkend bedrijf			141 -78400
	- Dataram	32	< 0.05 -1,8	

Jaar	Beschrijving	N	Inhaleerbaar stof GM (range) (mg/m ³)	Endotoxinen GM (range) (EU/m ³)
	- GSP	12	0,5-12,1	
2008 – 2012 ⁶	NAK			
	- 2008	11		<10-168
	- 2009	13		<10-471
	- 2010	14		<10-564
	- 2011	11		<10-323
	- 2012	18		<10-231
2010 – 2011 ⁷	Zaadverwerkend bedrijf			
	- Oktober 2010	11	0,6-4,8	30-10254
	- Februari 2011	8		18-3226
	- Oktober 2011	7		2050-92900
2012 ⁸	Zaadverwerkend bedrijf van een 'problematische' partij graszaad			
	- Diverse posities in het bedrijf en in een truck	6	1,52-4,15	140.000-322.000
	- Zaad ontvangst	3	1,49	744.000
	- Zaad silo	3	9,1	134.000
	- Zaad schoning	3	1,05	42.500
	- Verpakking van geschoond zaad	3	0,26	23.900
	- Referentie van buitenlucht	3	0,011	2,35

* AM in plaats van GM

¹ Smit et al., 2006 ² Heederik et al., 2001 ³ Spaan et al., 2011 ⁴ Smit et al., 2008b

⁵ Blootstellingsgegevens zaadverwerkend bedrijf (vertrouwelijk)

⁶ Notities endotoxine metingen 2008-2012, NAK.

⁷ Blootstellingsgegevens zaadverwerkend bedrijf (vertrouwelijk)

⁸ Madsen et al., 2012

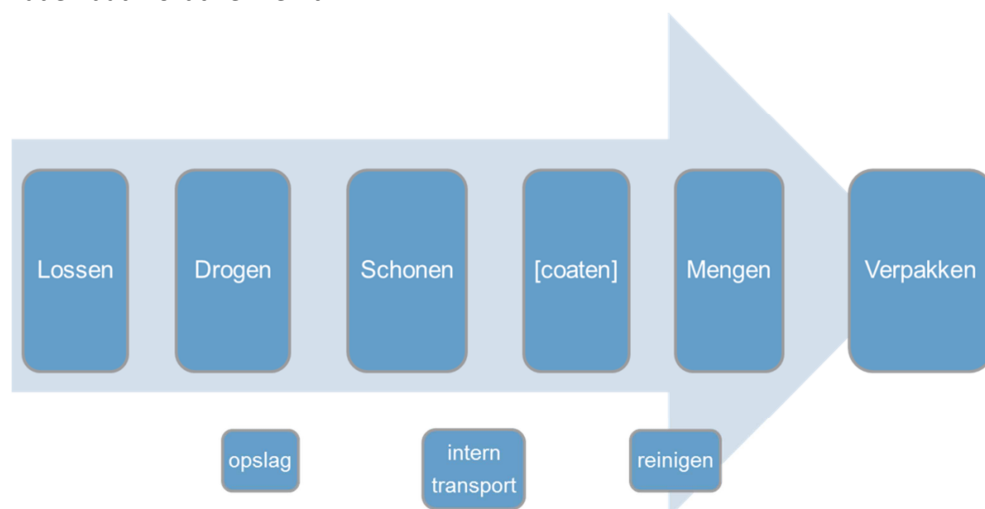
In het IRAS-rapport uit 2001 worden hoge endotoxinen-niveaus en -blootstellingen gerapporteerd bij graszaad en de verwerking van prei- en wortelzaad. Ook zijn er aanwijzingen dat door opslag de blootstelling wordt verhoogd, omdat de niveaus in het voorjaar lager zijn dan die in het najaar. Tijdens de schoning wordt de hoogste blootstelling gemeten, en daarna bij heftruckrijders. Op het laboratorium zijn de laagste blootstellingen gemeten. Het lijkt er dus op dat het schoningsproces de blootstelling verderop in het proces verlaagt. Daarnaast wijzen de hoge gevonden niveaus bij de werknemers die werken in de nabijheid van het schoningsproces en in het onderzoeksinstituut erop dat direct contact met (het afval van) de verwerkte zaden een verhoging van de blootstelling veroorzaakt.

De 'problematische' partij uit het onderzoek van Madsen *et al.* (Madsen *et al.* 2012) was een partij graszaad dat bij verwerking al na enkele uren klachten gaf bij

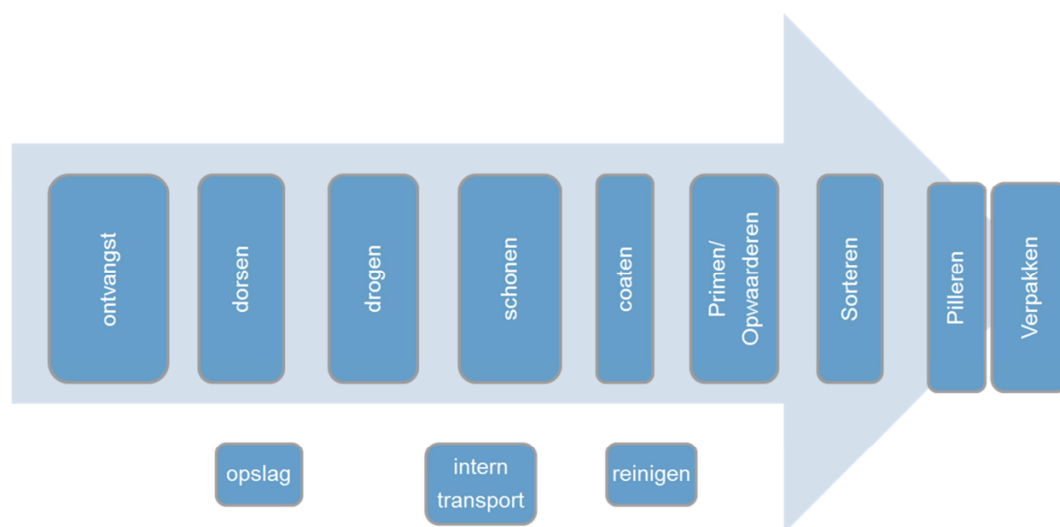
medewerkers. De getallen in Tabel 15 zijn gemeten bij verdere verwerking van deze partij in een aparte fabriek. De gevonden niveaus zijn hoger dan in de IRAS studie en ook hier neemt de blootstelling af naarmate het zaad verder in de schoning komt. Overigens waren ook de concentraties in de lucht voor schimmels, specifiek die van thermofiele actinomyceten, boven de aanbevolen waarden. De klachten zijn dus niet 1-op-1 toe te wijzen aan blootstelling aan endotoxinen.

Op basis van bovenstaande getallen is het lastig te bepalen in hoeverre de persoonlijke blootstelling van werknemers in de zaadverwerkende industrie daadwerkelijk teruggedrongen moet worden. Het lijkt erop dat in geval van verwerking van groentezaad de huidige genomen maatregelen al voldoende zijn (op basis van vergelijking van gegevens uit 2001 en 2006), terwijl voor andere tuinzaaden een factor 10 reductie in blootstelling noodzakelijk lijkt. Voor landbouwzaaden (graszaad) zal de reductie hoger moeten zijn, rond een factor 40.

Figuur 23 geeft het schema van een typisch verpakkingsproces voor landbouwzaaden zoals graszaaden weer. Figuur 24 geeft een schema van het algemene verpakkingsproces voor tuinbouwzaaden weer. Echter, in de praktijk wordt het verwerkingsproces afgestemd op het te verwerken product (het soort zaad), en de grootte en eigenschappen van de betreffende batch. Dit is zeker het geval bij de verwerking van tuinzaaden, waarbij afhankelijk van de te verwerken batch specifieke schoningsstappen worden geselecteerd. Hierbij worden bijvoorbeeld 5 van de 10 verschillende schoningsmachines/-stappen die beschikbaar zijn binnen een bedrijf geselecteerd. Zo vindt in bepaalde bedrijven net na opslag of na binnenkomst van wortelzaad en uienzaad fysische zaadontsmetting plaats. Dit kan door heet (50 °C) water of vacuum/stoom. Harige zaaden worden gepolijst. De mate van handwerk en machinaal werk verschilt afhankelijk van het soort zaad dat wordt verwerkt en de grootte van de partij zaaden dat wordt verwerkt.



Figuur 23: Procesbeschrijving van een typisch verwerkingsproces voor landbouwzaaden.



Figuur 24: Algemene procesindeling van een typisch verwerkingsproces voor tuinbouwzaden.

5.2 Gevonden endotoxinen-niveaus in en op zaden

Stap 1 in de reductie van de inhalatoire blootstelling is het wegnemen van bronnen. In dit project is aan de hand van een aantal geïdentificeerde onderdelen van het verwerkte product bepaald wat die bronnen kunnen zijn. De onderzochte onderdelen waren het product (de zaden) zelf, zowel voor als na schoning, en het afvalmateriaal dat wordt verwijderd tijdens de schoningstap(pen). Dit afvalmateriaal bestaat uit (overgebleven) plantmateriaal en overig afval, en omvat, volgens de geraadpleegde verwerkingsbedrijven, typisch 5-15% van een ongeschoonde partij/batch zaden. In geval van een aantal batches zaden is ook apart plantmateriaal (van bijvoorbeeld een partij binnenkomende ongedorste zaden) verzameld en geanalyseerd.

Tabel 16: Overzicht endotoxinen-niveaus op zaden (Heederik *et al.*, 2001)

Gewas	N	Niveau (EU/g) (* AM (range))
Graszaad; ongeschoond, niet gedroogd	9	150.682 (73.031-361.123) *
Graszaad; ongeschoond, gedroogd	3	120.012 (58.899-181.338) *
Graszaad; geschoond, niet gedroogd	3	72.932 (66.849-78.193) *
Bloemkool; ongeschoond	1	132
Bloemkool; geschoond	1	4.845
Kroot; ongeschoond	1	855.420
Kroot; geschoond	1	8.368
Prei; ongeschoond	1	16.674
Prei; geschoond	1	3.281
Veldsla; ongeschoond	1	1.022.831
Veldsla; geschoond	1	109.442
Koraalsla; geschoond	1	52.241
Kropsla; ongeschoond	1	37

In het verleden heeft het IRAS in opdracht van de Nederlandse Vereniging van Zaaizaad en Plantgoed (NVZP) ook al eens een analyse gedaan van de hoeveelheid aanwezige endotoxinen op het product (de zaden) (Heederik *et al.*, 2001) (zie Tabel 16). De variabiliteit in de endotoxinen-niveaus voor de verschillende soorten zaden was toen ook erg groot, vooral in geval van tuinzaden. En ook toen werden in graszaden relatief hoge endotoxinen-niveaus gemeten. Echter, in veel gevallen is in het onderzoek uit 2001 slechts één monster geanalyseerd, hetgeen de waarde van de resultaten beperkt.

Tabel 17 geeft de resultaten weer van een Deense studie (Madsen *et al.* 2012). Deze studie werd uitgevoerd om te analyseren waarom een specifieke partij graszaad bij verwerking al na enige uren ademhalingsklachten veroorzaakte bij de medewerkers van de verwerkende fabriek. Het blijkt dat de endotoxinen-niveaus voor de ongeschoonde zaden in de 'problematische' partij veel hoger zijn dan die van referentiepartij, zowel met betrekking tot de zaden zelf als het stof wat vrijkomt bij agitatie in een trommel. Ook de niveaus van micro-organismen waren duidelijk verhoogd in de 'problematische' partij. De endotoxinen niveaus van die partij zijn ook veel hoger dan gevonden in het IRAS-onderzoek (zie Tabel 17). Ook na schoning van de problematische partij blijven de niveaus hoger dan in de referentiepartij of het IRAS-onderzoek. Als reden voor de problematiek is aangegeven dat de zaden onvoldoende gedroogd waren voordat ze opgeslagen werden bij de boer.

Tabel 17: Overzicht endotoxinen-niveaus op graszaden (N=3) en op stof na agitatie van de problematische en een referentie partij (Madsen *et al.*, 2012)

Graszaad partij	Niveau op zaad (EU/g)	op stof vrijgekomen na agitatie (mg)	Niveau op stof (EU/mg)	EU in de lucht bij storten (EU/m ³)
Problematisch, ongeschoond	2.630.000	72,4	10.500	744.000*
Problematisch, geschoond	1.710.000	9,9	12.800	23.900**
Referentie ongeschoond	80.200	14,5	2.270	
Referentie, geschoond	14.800	2,9	549	

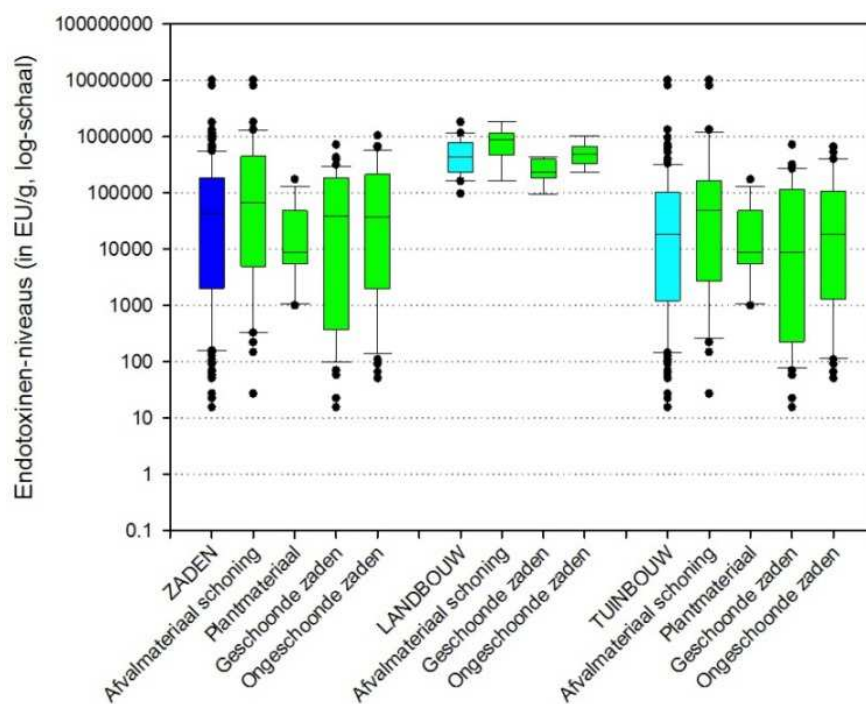
* Niveau bij zaad ontvangst

** Niveau bij verpakking van geschoond zaad

De problematische partij is verder geschoond in een aparte fabriek waarbij er metingen verricht zijn bij de diverse stappen. Het lijkt dat er een verband is tussen het niveau op het zaad en de blootstelling bij overstorten.

In Figuur 25 staan de resultaten van de analyses van endotoxinen-niveaus zoals gevonden binnen het huidige project weergegeven. Hierbij moet wel worden

opgemerkt dat achteraf bleek dat er in de betreffende periode relatief weinig 'vuile' (nog niet geschoonde) partijen zaden bij de verwerkende bedrijven binnenkwamen. Hierdoor is er onder andere relatief weinig plantmateriaal verzameld. Bovendien hebben de partijen zaad die in de verwerkende bedrijven binnenkomen in veel gevallen al een vorm van voorschoning doorlopen.



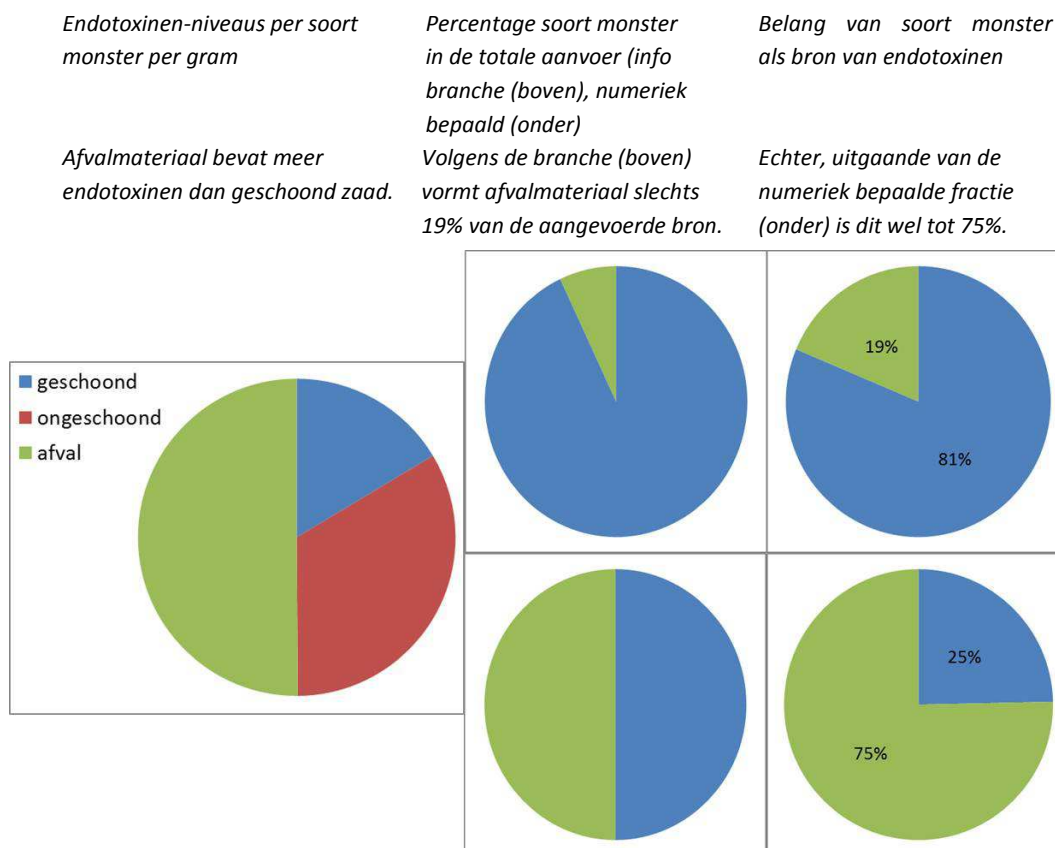
Figuur 25: Overzicht endotoxinen-niveaus op productmonsters van zaden – per soort monster en soort bedrijf voor de tuinbouwzaden

In geval van landbouwzaden worden de hoogste endotoxinen-niveaus gevonden in het afvalmateriaal uit de schoning (GM 722.300 EU/g), gevolgd door ongeschoonde zaden (GM 482.700 EU/g) en geschoonde zaden (GM 236.500 EU/g). De verhouding afvalmateriaal : ongeschoond zaad : geschoond zaad is dus 3 : 2 : 1. De gevonden niveaus uit de huidige studie liggen ongeveer 1/3 lager dan de waarden zoals gevonden tijdens het eerder uitgevoerde IRAS-onderzoek (Heederik *et al.*, 2001) en 5 tot 7 keer zo laag als die in het Deense onderzoek (Madsen *et al.* 2012), maar zijn wel consistent voor ongeschoond en geschoond zaad.

Als de endotoxinen-niveaus zoals gevonden in het afvalmateriaal worden vergeleken met de niveaus zoals aangetoond in Duits (huis)stof, zijn deze vergelijkbaar met de niveaus in een stal en zo'n 5 tot 20 keer hoger dan de niveaus aangetroffen in huisstof (zie Tabel 8 in paragraaf 4.2).

De branche geeft aan dat de hoeveelheid afvalmateriaal in een partij ongeschoonde zaden over het algemeen 5-15% van het totaalgewicht is. Hiervan is zo'n 5-10% 'stof' (waarschijnlijk voornamelijk meekomend grondmateriaal), en

wordt aangenomen dat de rest uit plantmateriaal bestaat (hoewel het 'stof' waarschijnlijk ook heel fijn plantmateriaal en schilletjes van zaden e.d. kan bevatten). Echter, als er gekeken wordt naar de absolute endotoxinen-niveaus, dan zou de hoeveelheid afval worden geschat op ongeveer de helft van het ongeschoonde zaad. Dit gaat op voor zowel de niveaus zoals gevonden binnen het huidige project als voor de niveaus zoals gevonden in het eerder uitgevoerde IRAS-onderzoek.



Figuur 26: Relatieve hoeveelheden endotoxinen per productonderdeel (product-monsters uit zaadverwerkende sector); ongeschoond zaad, geschoond zaad en afvalmateriaal uit schoning.

In Figuur 26 worden aan de linkerkant de gemeten endotoxinen-niveaus grafisch weergegeven. In het midden zijn boven de geschatte bijdragen zoals gegeven door de branche weergegeven, en onder op basis van de absolute gevonden niveaus. Aan de rechterkant zijn deze gegevens vertaald naar de totale bijdrage van het zaad en het afvalmateriaal als bron van endotoxinen in de aanvoerstroom. Dit betekent dat het de verwachting is dat de blootstelling aan endotoxinen significant teruggebracht zou kunnen worden door zo snel mogelijk te schonen en daarbij contact met het afvalmateriaal te voorkomen, ook na verwijdering. Stel dat er een mitigatietechniek wordt toegepast waarbij al het initiële afval wordt verwijderd, dan is er een reductie-potentieel van een factor 4 te realiseren. Dit is echter nog

steeds een factor 10 te weinig. Dus zal ook de blootstelling aan endotoxinen afkomstig van het geschoonde zaad teruggebracht moeten worden.

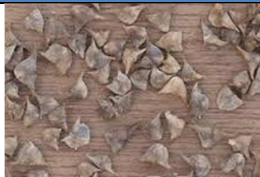
Ook in geval van de tuinzaden worden de hoogste niveaus gevonden op het afvalmateriaal uit de schoning (GM 23.200 EU/g), gevolgd door het plantmateriaal (GM 12.400 EU/g), de ongeschoonde zaden (GM 9.600 EU/g) en de geschoonde zaden (GM 6.000 EU/g). Hier klopt de verhouding 80-85% zaden en 15-20% afvalmateriaal in ongeschoond zaad numeriek wel, en zijn de absolute niveaus in het geschoonde zaad 40 keer lager dan bij de landbouwzaden. Dit is ongeveer een factor 4 meer dan het verschil in blootstelling uit Tabel 15. Dit zou erop wijzen dat de overdracht van de endotoxinen van het verwerkte product naar de medewerker efficiënter is in geval van verwerking van tuinbouwzaden, aangezien de gemeten persoonlijke blootstelling tijdens het verwerken van tuinzaden relatief hoger is ten opzichte van de gevonden endotoxinen-niveaus op de productonderdelen zelf. Dit zou kunnen worden veroorzaakt door het feit dat er bij de verwerking van tuinbouwzaden relatief meer handwerk komt kijken.

Om wat inzicht te verkrijgen in de reden van de grote verschillen in de gemeten endotoxinen-niveaus tussen de verschillende soorten tuinbouwzaden, is een onderverdeling gemaakt naar de eigenschappen van de verschillende zaden (zie Tabel 18).

Tabel 18: Eigenschappen zaden, selectie met foto's uit "Digitale atlas zaden".²⁸

Soort zaad	Eigenschappen zaad		
	Ruw/glad	Groot/klein	Wel/niet stoffig
Kroot	<i>ruw, cluster</i>	<i>middel</i>	<i>Stoffig. Het zaad heeft ook een 'velletje' dat er makkelijk afgaat en waarna de buitenste laag weer een velletje vormt</i>
Bieten 	<i>ruw, cluster</i>	<i>middel</i>	<i>Stoffig</i>
Prei 	<i>ruw</i>	<i>klein</i>	<i>Stoffig</i>
Spinazie	<i>ruw</i>	<i>middel</i>	<i>Stoffig</i>

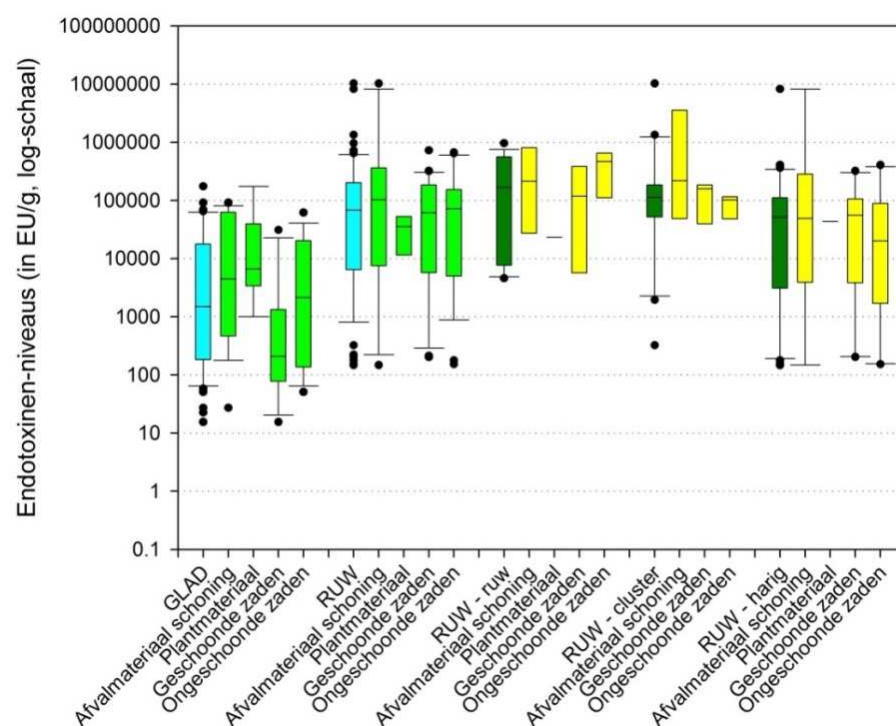
²⁸ <http://econ.eldoc.ub.rug.nl/index.php?lang=nl> of <http://dzn.eldoc.ub.rug.nl/>

Soort zaad	Eigenschappen zaad		
	Ruw/glad	Groot/klein	Wel/niet stoffig
			
Uien 	<i>ruw</i>	<i>klein</i>	<i>Stoffig</i>
Venkel 	<i>ruw, harig</i>	<i>groot **</i>	<i>Stoffig</i>
Witlof 	<i>glad</i>	<i>klein</i>	<i>Stoffig</i>
Wortel 	<i>ruw, harig</i>	<i>klein</i>	<i>Stoffig</i>
Kool 	<i>glad</i>	<i>klein</i>	<i>Niet stoffig</i>
Radijs 	<i>glad</i>	<i>middel</i>	<i>Niet stoffig *</i>
Tomaat= extreem variabel	<i>ruw, harig</i>	<i>klein</i>	<i>Stoffig</i>

Soort zaad	Eigenschappen zaad		
	Ruw/glad	Groot/klein	Wel/niet stoffig
			
Veldsla 	ruw, cluster	middel	Stoffig

* Een bedrijf heeft aangegeven dat in geval van Nederlandse teelt deze zaden als 'stoffig' worden beoordeeld

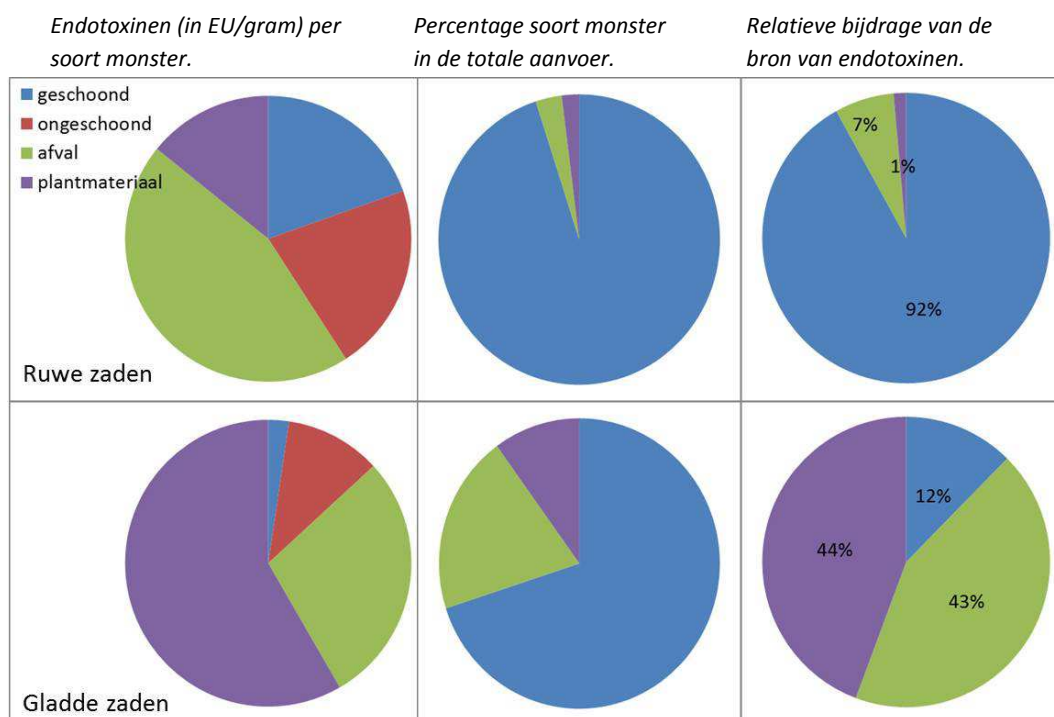
** In verband met kleine aantal (n=4) gerekend bij 'middel'



Figuur 27: Overzicht endotoxinen-niveaus op productmonsters van zaden – per soort oppervlakte

Het blijkt dat, gemiddeld gezien, de gevonden endotoxinen-niveaus zoals gevonden op ruwe zaden (GM 43.000 EU/g) veel hoger zijn (een factor 20) dan op gladde zaden (GM 1.800 EU/g) (zie Figuur 27). Ruwe zaden zijn bijvoorbeeld krotten, bieten, prei, spinazie, uien, venkel, witlof en wortel, en hiervoor zijn ook de hoogste niveaus endotoxinen gemeten. Ook is het verschil tussen het geschoonde zaad en ongeschoonde zaad voor ruw zaad kleiner (GM 34.178 EU/g

respectievelijk. 37.193 EU/g) dan bij glad zaad (GM 363 EU/g respectievelijk 1.686 EU/g). Dit zou betekenen dat er meer 'ongerechtigdheden' op het ruwe zaad achterblijven die endotoxinen bevatten, terwijl deze bij glad zaad wel verwijderd worden. Deze conclusie wordt ondersteund door het feit dat in geval van ruw zaad 5% afvalmateriaal de endotoxinen-balans voor geschoond versus ongeschoond zaad sluitend maakt, terwijl dat bij glad zaad 30% afvalmateriaal is. Dit is nog eens grafisch weergegeven in Figuur 28.



Figuur 28: Onderverdeling in gevonden endotoxinen-niveaus met betrekking tot endotoxinen-balans (N.B. de absolute niveaus in ruwe zaden zijn 10 keer zo hoog).

5.3 Mogelijke maatregelen

Het blijkt dat de sterkte van de bron van endotoxinen in geval van zaadverwerking zeer afhankelijk is van factoren die specifiek zijn voor het type product (= type zaad). Ook de hoogte van de daaraan gerelateerde blootstelling is afhankelijk van zeer veel variabelen, zoals de specifieke schoningsstap en de mate van automatisering. Daarom is het niet mogelijk om een algemeen geldend advies te geven voor reductie van blootstelling voor alle typen zaadverwerking. Er zal dus per situatie beoordeeld moeten worden wat de beste aanpak is. Echter, hieronder zijn wel een aantal algemene maatregelen genoemd die mogelijk breed toegepast kunnen worden.

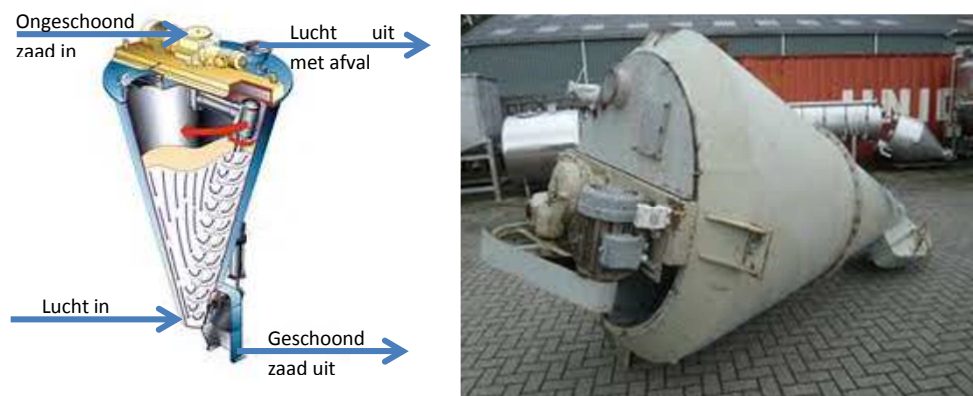
5.3.1 Schonen, verwijderen van los afval

Door het direct verwijderen van los afval dat onderdeel is van de binnenkomende productstroom (partijen ongeschoonde zaden) kan aan het begin van het

verwerkingsproces een grote stap gemaakt worden met betrekking tot reductie van blootstelling aan endotoxinen. Met het oog op het verminderen van de bron van blootstelling voordat deze het verwerkende bedrijf binnenkomt is het ook de overweging waard om (direct) na het dorsen een soort 'naschoning' toe te passen, waarbij al veel van het afvalmateriaal en/of plantmateriaal wordt verwijderd (voorafgaand aan of zelfs in plaats van de eerste voorschoning). Een dergelijke gelocaliseerde naschoningsbewerking direct na de oogst (het dorsen) kan wellicht rendabeler (meer kosten-efficiënt) worden uitgevoerd dan een centrale voorschoningsstap bij binnenkomst in het verwerkende bedrijf, waarbij ook de blootstelling aan endotoxinen tijdens de verder verwerking waarschijnlijk aanzienlijk wordt verlaagd.

Voor de machinale scheiding van zaden en lichtere componenten zou een apparaat gebruikt kunnen worden dat gebaseerd is op het principe van een Nautamenger. Nautamengers worden in deze branche al gebruikt voor het aanmaken van zaadmengsels. Figuur 29 toont een schematische weergave van een Nautamenger. Het idee is om de originele Nautamenger te modificeren waarbij de ongeschoonde zaden boven in het apparaat ingevoerd worden in combinatie met een luchtstroom van onderuit. De conusvorm van het apparaat en de schroef die erin ronddraait zorgen er voor dat de lucht en de zaden goed gemengd worden. Door de lichte wrijving zouden ook loszittende velletjes en dergelijke geheel loskomen van de zaden. De luchtstroomsnelheid is zodanig afgesteld dat de zwaardere zaden naar beneden schroeven en de lichtere velletjes, lege doppen en andere lichte ongerechtigheden met de luchtstroom mee naar boven gevoerd worden.

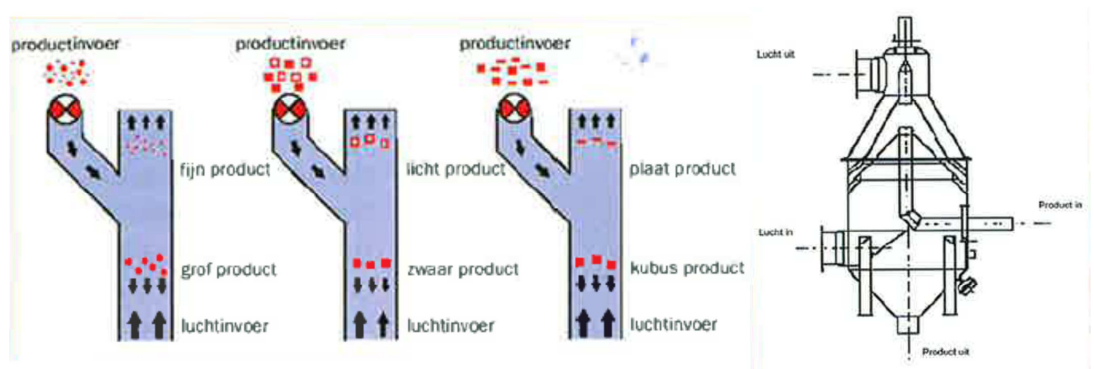
Een Nautamenger is in allerlei maten verkrijgbaar (zie Figuur 29 (rechts) voor een hele grote). Bij toepassing van dit principe zijn alle stromen volledig dicht, waardoor contact met zowel het ongeschoonde product, de lucht-afvalstroom en de geschoonde productstroom geminimaliseerd wordt. Het afval kan uit de luchtstroom verwijderd worden door bijvoorbeeld filtratie of uitzakken in een afgesloten vat.



Figuur 29: Schematische weergave van schoningsapparaat gebaseerd op Nautamenger (links), en foto van industriële versie Nautamenger (rechts).

Andere vormen van machines die al een gelijkaardig scheidingsprincipe toepassen zijn windziften en elutriators (Wagenaar, 2014). Een windzifter kan deeltjes zeer nauwkeurig scheiden op gewicht, deeltjesgrootte en/of deeltjesvorm (zie Figuur 30, links). De fijne (stof), lichte (lege doppen) of plattere deeltjes worden met de luchtstroom omhoog gevoerd, terwijl het product naar beneden valt. Op deze wijze kan gedurende de overstort bij binnenkomst direct een eerste schoningsstap uitgevoerd worden.

Een elutriator scheidt ook deeltjes, maar minder nauwkeurig (zie Figuur 30, rechts). De mengproduct-stroom wordt van de zijkant ingevoerd en in een conus geblazen, waardoor de lichtsnelheid lager wordt. De ongerechtigheden worden mee naar boven gevoerd, terwijl het product naar beneden valt. Voordeel van de elutriator is dat zo'n apparaat doorgaans minder hoog/groot is. Dit principe wordt vaak toegepast als een stap in het transport van deeltjes.



Figuur 30: Principe windzifter (links) en elutriator (rechts) (Wagenaar, 2014).

5.3.2 Afscherming van het product bij verdere verwerking

De blootstelling aan endotoxinen afkomstig van het product (de zaden) zelf, zowel voor als na schoning, zal ook teruggedrongen moeten worden. Oplossingsrichtingen hierbij zijn volledig afgesloten schoningsstappen, en het

zoveel mogelijk omkappen en ventileren van de in het proces aanwezige overstortpunten. Het is dan aan te bevelen ventilatoren te laten draaien tot minimaal 15 minuten (of langer) na het einde van het overstorten als de ruimte niet optimaal is geventileerd. En als personeel tijdens het proces bij de installatie moet zijn voor onderhoud, dan wordt aanbevolen dat in geval van een niet-afgesloten installatie hierbij een mondkapje (om precies te zijn: halfgelaatsmasker met deeltjesfilter) wordt gedragen. In de studie van Madsen *et al.* (Madsen *et al.* 2012) is aangetoond dat de klachten bij verwerking van een 'problematische' partij graszaad verdwenen door het dragen van een masker en helm (Compact Air mod. Junior A, filter P3, North®; Honeywell). Het wordt aanbevolen om naderhand handen en gezicht grondig te wassen met water en zeep.

5.3.3 *Afscherming van het afval bij verdere afvoer*

Aangezien het afval uit de schoning ook een bron van endotoxinen vormt, is het aan te bevelen ook het contact van medewerkers met dit afvalmateriaal te minimaliseren. Een gesloten afvoersysteem heeft hierbij de voorkeur, bijvoorbeeld afvoer van afvalmateriaal direct in een afgesloten zak of bak. Alternatief is het afval te comprimeren, zodat het compacter is, minder stoft en makkelijker ook weer afgeschermd af te voeren is, bijvoorbeeld door hier pellets van te persen.

5.3.4 *Reinigen van het product (verwijderen of onschadelijk maken endotoxinen)*

Endotoxinen zijn wateroplosbaar en dus door wassen van het product te verwijderen. Echter, op basis van de inventarisatie van de randvoorwaarden vallen alle natte processen (zoals bijvoorbeeld beschreven voor de aardappelverwerkende industrie in de paragrafen 3.3.2 'Wassen' en 3.3.3.1 en 3.3.3.2 'Desinfecteren') bij voorbaat in principe af. Een uitzondering hierop zijn wellicht de zaden die worden 'gewonnen' door middel van extractie, tijdens of net na het extractieproces als de zaden nog nat dan wel vochtig zijn. De zaden ondergaan enkele bewerkingsstappen, waarin wellicht een van de genoemde technieken geïntegreerd kan worden, bijvoorbeeld de toepassing van plasma.

Voor desinfectie met afbreekbare stoffen in gas geldt hetzelfde nadeel als genoemd bij aardappelen (zie paragraaf 3.3.3.3): problemen met gasdichtheid. Fysische desinfectie (paragraaf 3.3.3.5) is voor landbouwzaden niet geschikt vanwege de relatief lage marges, maar voor tuinbouwzaden zou het een optie kunnen zijn.

Oxiderende desinfectie (zie ook paragraaf 3.3.3.4) door UV-ozon heeft ook dezelfde nadelen alhoewel zaden wel droog zijn. De kleine maat maakt dat individuele reiniging lastig is. Plasma desinfectie heeft meer potentie, maar hier is het grootste risico de effectiviteit ten opzichte van productschade, met name kiemkracht.

Ook alle inkapselmethoden vallen af vanwege het schonen van de zaden, hoewel dit na het schonen eventueel een mogelijkheid zou kunnen zijn om nog op de zaden aanwezige endotoxinen te fixeren. Dit zou eventueel in combinatie met al bestaande verwerkingsstappen als coaten en/of pilleren kunnen worden uitgevoerd. Wellicht hebben deze verwerkingsstappen ook al (onbedoeld) in de praktijk deze werking.

De firma Akerboom fabriceert van oudsher allerlei verwerkingsapparatuur voor de bloembollen-verwerkende industrie. Ze lijken zich gespecialiseerd te hebben in ontsmettingslijnen, waarbij deze ervaring sinds kort ook wordt aangeboden voor de zaadverwerkende industrie.²⁹ Het is echter onbekend welk effect deze techniek heeft of zou kunnen hebben op de endotoxinen-niveaus zoals aanwezig op het product c.q. de blootstelling van werknemers aan endotoxinen, en dit vraagt dan ook nadere verificatie.

5.4 Trade-off mitigatietechnieken samengevat

Het is nodig om de blootstelling met een factor 10 (voor verwerking tuinzaden) tot een factor 40 (voor verwerking landbouwzaden) te verlagen om de persoonlijke blootstelling van werknemers in de zaadverwerkende industrie zodanig te verminderen dat de voorgestelde grenswaarde van 90 EU/m³ wordt gehaald.

In Tabel 19 is de trade-off met betrekking tot de toepassing van de diverse genoemde mitigatietechnieken samengevat. Bij het bepalen van het eindoordeel zijn de weegfactoren zoals door de branche zelf aangegeven meegenomen. Deze waren 80% voor effectiviteit, 100% voor schade, 60% voor financiële aspecten (waarbij voor landbouwzaden de operationele kosten eerder voor 100% meewegen vanwege de kleine marges per kg) en 30% voor de overige factoren. Bij de financiële factor weegt vooral de initiële investering zwaar mee bij het bepalen of de techniek daadwerkelijk toegepast zal kunnen worden. Machines gaan over het algemeen lang mee en dus is het vaak pas rendabel te realiseren bij vervanging. In geval van de overige factoren zijn met name de vergunningen belangrijk, en telt dit onderdeel in geval van de landbouwzaden eerder voor 60% in plaats van 30% mee.

De adviezen in dit rapport kunnen als volgt worden samengevat. Ten eerste blijkt dat de sterkte van de bron van endotoxinen in zeer grote mate afhangt van factoren die specifiek zijn voor het type product (=type zaad). Ook de hoogte van de daaraan gerelateerde blootstelling is afhankelijk van zeer veel variabelen, waardoor het vrijwel onmogelijk is om een algemeen geldend advies te geven voor reductie van blootstelling voor alle typen zaadverwerking.

²⁹ <http://www.akerboom.nl/machine/index.asp>

Er zal dus per situatie beoordeeld moeten worden wat de beste aanpak is. Er zijn echter wel een aantal algemene maatregelen genoemd die mogelijk breed toegepast kunnen worden.

- Grote schoningsstap bij binnenkomst, of voor binnenkomst als naschoning bij dorsen, met afgeschermd productstromen. Bijvoorbeeld op basis van soortelijk gewicht (principe Nautamenger, windzifter of elutriator)
- Afscherming van contact met het product bij verdere verwerking
- Afscherming van contact met het afval bij afvoer
- Reinigen van het product
- Afgezogen lucht reinigen (ontdoen van stof en mogelijk endotoxinen)
- Productieruimte en machines reinigen

Tabel 19: Trade-off van toepasbare mitigatietechnieken*

Methode	Effectief als bronreductie	Effect op blootstelling	Schade aan product	Totale kosten	Eindoordeel
Bestaande schoningsstappen**	Maximaal tot 25%	Groot, mits minimaal contact met afval en product	Nihil	Nihil	Eerste keus
Nauta-menger	Onbekend, maximaal tot 25%	Grote reductie bij gesloten systeem	Risico	(Honderd) duizenden euro's + stroom, maar combinatie mogelijk	Derde keus
Natte technieken	Wellicht	Potentie	Te groot risico, behalve wellicht voor vruchtzaden		Mogelijk vierde keus voor vruchtzaden
Windzifter of elutriator	Onbekend, maximaal tot 25%	Grote reductie door gesloten systeem	Klein risico	(Honderd) Duizenden euro's + stroom, maar combinatie mogelijk	Tweede keus
Los afval verwijderen en wegblazen	Onbekend, maximaal tot 25%	Isolatie of ventilatie nodig	Nihil	Duizenden euro + stroom	Vierde keus
UV-ozon	Niet waarschijnlijk	Nee	Risico	Hoog	Laatste keus
Plasma	Mogelijk	Allen als bron gereduceerd is	Risico	Hoog	Vierde keus
Fixeren, inkapselen	Nee	100%	Nihil	Kan worden geschat via kosten	Laatste keus

Methode	Effectief als bronreductie	Effect op blootstelling	Schade aan product	Totale kosten	Eind-oordeel
coaten					
Inkapselen	Nee	Alleen aan eind proces, dus minimaal	Nihil	Nihil als gecombineerd wordt met bestaande coating	Vierde keus

* Ongeschikte methoden zijn in grijs aangegeven

** Hier wordt bedoeld dat bij de keuze voor de toegepaste schoningsstappen voorkeur gegeven wordt aan gesloten systemen met minimaal contact tussen medewerker en product of afvalmateriaal. Daarnaast kunnen tests wellicht uitwijzen welke (combinatie) van de bestaande schoningsstappen de grootste reductie met betrekking tot blootstelling aan endotoxinen teweeg brengen.

De focus ligt dus op de toepassing en optimalisatie van bestaande schoningstechnieken. De combinatie van schoningstechnieken hangt af van het soort zaad dat wordt verwerkt en de kwaliteit van de binnenkomende partij. In combinatie met het feit dat er (zeker in geval van tuinzaden) soms kleine batches worden verwerkt, zal maatwerk het beste resultaat opleveren. De verwachting is dat er ook een grote hoeveelheid kennis met betrekking tot (de praktische toepasbaarheid van) verschillende schoningstechnieken voorhanden is bij de huidige leveranciers van schoningsmachines, en dat de oplossing samen met hen gevonden kan worden door naast productkwaliteit ook de veiligheid/gezondheid van de werknemers mee te nemen in het ontwerp van de machines.

Het idee is dan ook om contact op te nemen met aantal leveranciers schoningsmachines om ideeën qua oplossingen uit te wisselen. Verder is de verwachting dat de grootste klap qua reductie van blootstelling waarschijnlijk gemaakt kan worden bij de verwerking van de landbouwzaden, aangezien het hier met name bulkverwerking betreft, waarbij zeer hoge niveaus zijn aangetroffen.

6 Sector-overstijgende mitigatietechnieken

6.1 Lucht reinigen

Als de blootstelling teruggedrongen wordt door afzuiging, zal er vervolgens iets gedaan moeten worden aan de afgezogen lucht om nieuwe vervuiling via het afzuigstelsel te voorkomen. Goede afzuiging van stof resulteert bovendien in een reductie in de benodigde schoonmaakhandelingen. Om de lucht te reinigen zijn in principe 2 mogelijkheden: (1) uitstoot uit het bedrijf of (2) hergebruik met een reinigingsstap zoals filtratie. De simpelste methode is om de lucht niet te hergebruiken, maar direct uit te stoten via een schoorsteen. Groot voordeel hiervan is dat er verversing van de lucht plaatsvindt met behulp van buitenlucht waarin het endotoxinen-niveau laag is. Een van de nadelen hiervan is de hogere kosten voor verwarming van verse lucht.

In de afgezogen lucht bevinden zich allerhande deeltjes, waaronder fijn stof (1-10 micrometer in diameter) en nog fijnere stofdeeltjes. Dit stof bestaat onder andere uit organische en anorganische deeltjes. Deze deeltjes fungeren als transportmiddel voor o.a. bacteriën, virussen, schimmels en endotoxinen. Het gaat bij aardappelverwerking om stofdeeltjes die vaak groter zijn dan 1 μm , en door hun omvang af te vangen zijn met behulp van bijvoorbeeld filtratietechnieken. Deze lucht mag worden uitgestoten via een schoorsteen als aan de emissie-eisen voor stof en voor endotoxinen wordt voldaan. We gaan eerst na of dat het geval is.

6.1.1 Stof

Voor stof geldt de volgende eis (Infomil, 2014):

“Bij een aantal processen in de voedingsmiddelenindustrie kunnen emissies van stof vrijkomen, zoals bij het mengen, drogen, malen, branden of roosteren van grondstoffen. In die gevallen gelden de emissieconcentratie-eisen voor stof:

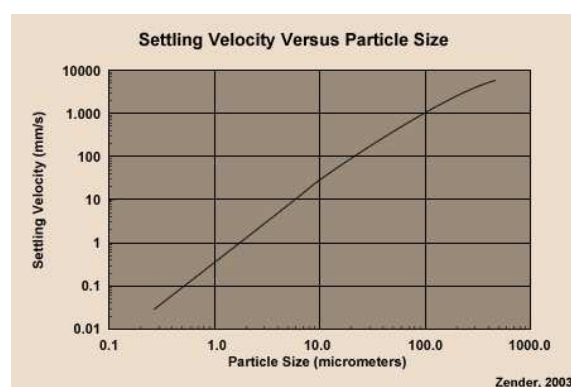
- 5 milligram per normaal kubieke meter, indien de massastroom van stofklasse S naar de lucht gelijk is aan of groter is dan 200 gram per uur
- 50 milligram per normaal kubieke meter, indien de massastroom van stofklasse S kleiner is dan 200 gram per uur

Aan deze eisen wordt voldaan door de aanwezigheid van een filtrerende afscheider, die op de juiste manier in werking is en wordt onderhouden.” De in dit stuk genoemde stofklasse S is ‘stof in algemene zin’.

Zo kan bijvoorbeeld uit Tabel 1 worden opgemaakt dat de gemiddelde concentratie inhaleerbaar stof zoals gemeten in de aardappelverwerkende industrie tussen 1 en 14 mg/m^3 ligt. Ligt die waarde onder 5 mg/m^3 , dan zijn er in geen enkel geval maatregelen nodig. Is de concentratie hoger, dan is de totale massastroom van belang. Die is te berekenen uit de concentratie (in mg/m^3) vermenigvuldigd met het luchtdebiet (in m^3/h), gedeeld door 1000. Een typisch

luchtdebiet voor één puntafzuiging is 500 m³/h. In dat geval is de totale massastroom maximaal 14 mg/m³ * 500 m³/h / 1000 = 7 g/h. Dat is ruimschoots onder 200 gram per uur. Alleen voor grote afzuiginstallaties met een debiet van meer dan 14285 m³/h kan er filtratie nodig zijn (zie verder paragraaf 6.1.4 'Lucht filteren').

Endotoxinen zijn over het algemeen onderdeel van stof(deeltjes). Daardoor is de hoeveelheid stof in de uitgestoten lucht ook van belang, waarbij een onderscheid gemaakt kan worden tussen grove stofdeeltjes en fijne stofdeeltjes. Grover stof zal namelijk sneller uitzakken en zich dus over een kleiner gebied verspreiden waardoor het effect op de blootstelling van omwonenden relatief hoog is. Fijner stof blijft veel langer in de lucht hangen, en zal zich dus over een groter gebied verspreiden en daardoor ook veel sterker verdunnen. Daardoor hebben kleine deeltjes een lagere impact op de blootstelling. Een richtlijn is dat deeltjes kleiner dan 20 micrometer vrijwel niet uitzakken. Figuur 31 illustreert dit door de valsnelheid (in mm/s) op de verticale as uit te zetten tegen de deeltjesgrootte (in micrometers) op de horizontale as. Een 100 micrometer deeltje heeft een valsnelheid van 1000 mm/s. Bij een schoorsteen van 10 meter en een matige wind van 5 m/s komt dat deeltje 50 m ver. Een 10 micrometer deeltje komt onder dezelfde voorwaarden pas na 2,5 km neer.



Figuur 31: Valsnelheid als functie van de deeltjesgrootte.³⁰ (NB: beide schalen zijn logaritmisch)

Dus is het een optie om alleen grof stof met endotoxinen te verwijderen en het fijnere stof uit te stoten.

6.1.2 Endotoxinen

Voor de uitstoot van endotoxinen naar het milieu zijn nog geen normen vastgesteld. De Gezondheidsraad heeft recent geadviseerd dat voor de omwonenden het niveau in de lucht niet hoger mag zijn dan 30 EU/m³. Dit is gebaseerd op het advies voor medewerkers van 90 EU/m³ met een

³⁰ http://www.goes-r.gov/users/comet/EUMETSAT/at_dust/print.htm

onzekerheidsfactor van 3 in verband met de mogelijke aanwezigheid van bevolkingsgroepen met een hogere gevoeligheid zoals ouderen en kinderen. Het advies haalt hierbij onderzoek aan dat aantoont dat deze grenswaarde haalbaar is, behalve voor pluimveehouderijen binnen enkele tientallen meters. Daarnaast stelt de GGD voor om een afstandscriterium van 250 m te hanteren, dat wil zeggen dat er geen maatregelen nodig zijn als er niemand binnen 250 meter woont (Nijdam *et al.*, 2012). Op deze afstand is het endotoxinen niveau op het achtergrondniveau van 0,1 – 1 EU/m³.

De concentratie endotoxinen die wordt uitgestoten is afhankelijk van de concentratie bij de medewerkers (in EU/m³), gedeeld door een verdunningsfactor door de afzuiging. Voor de hoogste concentraties (in geval van bijvoorbeeld aardappelverwerking meer dan 10.000 EU/m³) is dus een verdunningsfactor van 300 nodig om de 30 EU/m³ norm te halen, wat in de praktijk niet realistisch is. De afgezogen lucht zou dus voor uitstoot naar het buitenmilieu eerst gefilterd moeten worden.

6.1.3 *Onschadelijk maken endotoxinen in gefilterde lucht*

De endotoxinen zweven niet los in de lucht, maar zitten in en op stofdeeltjes. Dus door de lucht te filteren op stofdeeltjes, zal ook de endotoxinen-last sterk dalen. Een alternatief voor filteren is het in de lucht onschadelijk maken van de endotoxinen door één van de drie volgende methoden.

- Droge verhitting van het product om endotoxinen te verwijderen. Endotoxinen zijn thermisch behoorlijk stabiel: een behandeling van een half uur bij 250°C is nodig om een factor 1000 reductie te behalen. Dat is niet efficiënt genoeg voor de recirculatie van lucht.
- Oxidatiemethoden. Verbranding zou een optie kunnen zijn, maar geeft mogelijk te veel thermische belasting van het ventilatiesysteem. Plasma en ozon zijn droog en relatief koel (40-60°C), en zijn daardoor waarschijnlijk meer geschikt. Echter, de effectiviteit van deze processen ten opzichte van de investeringskosten en operationele kosten staat te bezien. Bijvoorbeeld de effectiviteit van UV-ozon is sterk afhankelijk van de afstand tussen de lichtbron en de vervuiling. Ook de snelheid van oxidatie, vaak in de orde van minuten, zou wel eens te laag kunnen zijn voor effectieve luchtreiniging.

Beide methoden zijn (1) niet in de praktijk bewezen en (2) prijzig in investering en gebruik van energie/chemicaliën. De oxidatiemethoden brengen weer hun eigen risico's met zich mee. Om deze redenen zijn filtratiemethoden te prefereren.

6.1.4 *Lucht filteren*

Een uitgebreidere studie van de mogelijkheden voor het toepassen van filters en filtersystemen ter voorkoming van blootstelling aan endotoxinen is recentelijk opgestart in de vorm van een Technologiecluster-project genaamd "Filters en

filtersystemen endotoxinen". In dit rapport beperken we ons daarom tot een korte beschrijving en vergelijking van bewezen systemen die fijn stof kunnen verwijderen. Er zijn meer systemen in ontwikkeling (Ellen *et al.*, 2011), dus het is verstandig de ontwikkelingen op dit terrein te blijven volgen. Hier beschrijven we de methoden die industrieel bewezen zijn.

6.1.4.1 Doekenfilters

Bij doekenfilters (zakkenfilters, mouwenfilters) wordt de luchtstroom simpelweg door fijnmazige doeken geperst. Omdat er veel vochtige lucht wordt afgezogen, is de kans groot dat bacteriën op de doeken uitgroeien die dan dus juist een bron van endotoxinen worden. Het vervangen van de doeken is een risicovolle activiteit. De kosten van investering, bedrijf en onderhoud zijn groter dan voor andere systemen. Het gebruik van doekenfilters voor deze toepassing wordt afgeraden.

6.1.4.2 Elektrostatische filters

In een elektrostatisch filter (E-filter) wordt de deeltjes eerst een elektrische lading gegeven, waarna ze langs elektrisch geladen platen worden geleid. Tegengestelde ladingen trekken elkaar aan, daardoor plakken de deeltjes aan een wand. Een elektrostatisch filter vangt deeltjes af vanaf 0,01 μm en groter en is dus voor alle relevante deeltjes effectief. De platen vervuilen en moeten regelmatig worden gereinigd door onderdompeling in een bad, waarin ultrasone reiniging wordt toegepast. Op dat moment ligt de installatie enige tijd stil. Reiniging is een activiteit waarbij het risico aan blootstelling significant is. De frequentie van reiniging kan drastisch worden beperkt door een voorreiniging met bijvoorbeeld cyclonen toe te passen.

6.1.4.3 Cyclonen

Een cycloon is een separator, die door middel van middelpuntvliedende krachten een mengsel van materialen scheidt op basis van dichtheidsverschillen. De Dyson stofzuiger is een mini-cycloon. Een cycloon is in de regel goedkoper maar minder efficiënt, vooral voor kleinere deeltjes (meer dan 95% voor deeltjes van 2 micrometer en groter) dan doekenfilters en F-filters.

6.1.4.4 Ionisatie

Een andere mogelijkheid is het gebruik van ionisatiesystemen. Een ionisator geeft lading aan deeltjes waardoor deze gaan samenklonteren. Deze grotere deeltjes zijn eenvoudig af te vangen via filters. Bij ionisatie produceert de ionisator negatief geladen ionen. De negatief geladen ionen trekken de overwegend positief geladen vuildeeltjes aan. Ze klonteren samen en het negatief geladen ion geeft zijn lading door aan het vuildeeltje, dat nu ook negatief geladen wordt. De samengeklonterde deeltjes zijn zwaarder dan lucht, waardoor ze neerdalen. Wanneer een ionisator over een filtersysteem beschikt zullen de deeltjes in het filter opgevangen worden.

Ionisatie is geschikt voor relatief schone lucht en er is alsnog een filtersysteem nodig. Dat levert extra kosten op.

6.1.4.5 Trade-off lucht filteren

Tabel 20 geeft het overzicht van de traditionele methoden. Op basis daarvan adviseren we om een cycloon toe te passen. Dat brengt de geringste investering met zich mee en cyclonen werken continu zonder dat er onderhoud nodig is. Mocht uit metingen blijken dat dit onvoldoende is, dan kan er een E-filter achter worden geplaatst dat dan maar langzaam zal vervuilen en dus zelden onderhoud nodig heeft.

Tabel 20: Trade-off luchtfiltering *

Methode	Effectief	Kosten (investering)	Kosten (verbruik)	Capaciteit	Opmerkingen
Doeken-filters	OK	> 200 k€	stroom	OK	Wordt nat en dus bron van endotoxinen
Elektrostatisch filter	OK	> 200 k€	beperkt	OK, maar staat stil bij reiniging	
Cycloon	> 95% voor deeltjes > 2 μm	~ 50 k€	Zeer beperkt	OK	Stof valt uit cycloon, afvoer eenvoudig
Ionisatie	OK	Extra bij doekenfilter	beperkt	Te klein	

* Ongeschikte methoden staan vermeld in grijs

6.2 Reinigen en desinfecteren van productieruimtes en machines

Bij het verwerken van aardappelen, uien en zaden komt stof vrij, en vanzelfsprekend raken installaties en de productieruimte na verloop van tijd ook stoffig. Dat stof bevat, net als huisstof en stalstof (Dusseldorp *et al.*, 2008; Madsen *et al.* 2012), endotoxinen, logischerwijs in hoeveelheden die vergelijkbaar zijn aan die van het grondmateriaal (in geval van de verwerking van aardappelen en uien), afvalmateriaal uit de schoning (in geval van de verwerking van zaden) en de buitenkant van het product (in geval van de verwerking van aardappelen, uien en zaden). Ook als het stof er langer ligt, verandert dat weinig tot niets aan de endotoxinen-niveaus die in dit stof aanwezig zijn (o.a. omdat de temperatuur in de productieruimten en de vochtigheid niet optimaal zijn voor (exponentiele) groei van micro-organismen). Tegelijk kan het stof wel opwervelen door aanraken (bijvoorbeeld door heftrucks die rondrijden), door intense luchtstromen en door trillingen (Duisterwinkel, 2004; Madsen *et al.* 2012), en daarmee (weer) in de lucht terechtkomen. Zo vormen de installaties en de productieruimtes dus opnieuw een

bron van endotoxinen, die een significante bijdrage kan vormen voor de totale blootstelling aan endotoxinen van werknemers.

Het is daarom belangrijk om installaties en productieruimtes schoon te houden. Dat moet zeer regelmatig gebeuren om opbouw van stof en daarmee endotoxinen te voorkomen. Bijkomend voordeel is dat ziekten, wormen en onkruidzaden zich minder snel zullen verspreiden en dat de installaties langer meegaan.

Olsen en Nolte (2011) hebben een uitgebreid advies geschreven over reiniging en desinfectie van aardappelverwerkingsmachines en opslagruimtes. Maar daarbij hebben ze geen rekening gehouden met het gegeven dat veel schoonmaakmethoden stof en/of aerosolen in de lucht brengen en dus voor de schoonmaker de kans op blootstelling aan endotoxinen verhogen. Dat geldt bijvoorbeeld voor vegen, blazen met perslucht en gebruik maken van een hogedrukspuit, waarbij aerosolen vrijkomen. Vanuit dit oogpunt verdienen de volgende methoden de voorkeur: 1) stofzuigen met een stofzuiger die voorzien is van een geschikt filter, 2) schrobzuigmachines, en 3) handmatig klamvochtig of nat afnemen. Als dat gedaan is, kan eventueel een hogedrukspuit worden gebruikt om hardnekkiger vuil te verwijderen. Onder sommige omstandigheden ontkomt men niet aan vegen of direct gebruik van een hogedrukspuit of perslucht. Dan verdient het de voorkeur om een stofmasker te dragen, en dit uit te voeren als geen andere medewerkers in de buurt zijn.

Uit de inventarisatie van productieprocessen blijkt dat veel van de bezochte bedrijven schoonmaakschema's hebben ingevoerd om de werkomgeving stofarm te houden. Het is positief dat in een aantal gevallen vloeren waar mogelijk met de veegwagen worden schoongemaakt en niet met een bezem of perslucht. Waar de veegwagen niet kan komen, gebeurt dit nog door middel van bezemen, en soms zwabbers met olie. Bij echt onbereikbare plaatsen en de 'laatste restjes' binnenin machines, gebeurt dit ook nog met perslucht, ná stofzuigen (+ HEPA-filter). Dat het volle stof-reservoir van de veegwagen open wordt gestort in een afvalbak is minder positief. Dit zou beter in een gesloten systeem kunnen gebeuren en/of goed geventileerd in afwezigheid van andere medewerkers. De effectiviteit van het stoffilter van de veegwagen tegen endotoxinen is niet onderzocht, maar de juiste filters in maskers zijn wel in staat klachten te voorkomen (Madsen *et al.* 2012). Deze moeten dan wel goed worden onderhouden dan wel vervangen.

6.3 Verantwoord omgaan met afvalstromen

Naast de endotoxinen die vrij kunnen komen bij het verwerken van agrarische producten tijdens het primaire proces, is het van belang om te realiseren dat ook afvalstromen (zoals afgezogen lucht, afvalmateriaal uit schoningsstappen bij zaden, grondmateriaal, uienvellen, proceswater) een bron van endotoxinen zijn. Tijdens het afvoeren van deze afvalstromen kan er dus zeker ook blootstelling aan

endotoxinen ontstaan, en het is dus van belang dat werknemers zich hier van bewust zijn en ook met dit materiaal verantwoord omgaan. Ook hierbij geldt dat werknemers bij voorkeur worden afgeschermd van deze bronnen en dus niet direct in contact komen met deze afvalstromen, bijvoorbeeld door een afvalstroom afgesloten op te vangen een afgesloten container en deze zo af te kunnen voeren zonder dat hiermee nog extra handelingen hoeven te worden verricht. Mocht dit niet mogelijk zijn, dan is het van belang dat het afvalmateriaal zo min mogelijk in beweging wordt gebracht, zodat de endotoxinen zo min mogelijk weer terug in de lucht worden gebracht. Dit is bijvoorbeeld ook van toepassing bij het reinigen van filters in afzuig- of luchtventilatiesystemen.

6.4 Monitoring (sensor)

Uit het voorgaande blijkt dat de variatie in hoeveelheid stof, de hoeveelheid aanwezige endotoxinen in dit stof, en de blootstelling daaraan heel groot kunnen zijn. Of en welke maatregelen nodig zijn, kan van plaats tot plaats en van tijd tot tijd verschillen. Hoeveel effect maatregelen daadwerkelijk in de praktijk hebben is verder lastig te meten. Dit omdat de variatie groot is (factoren als het weer, de grondsoort en productieproces hebben invloed op de endotoxinen-concentraties), de huidige meetmethoden redelijk omslachtig en vooral ook duur zijn, en de resultaten dagen op zich laten wachten. Het is verstandig om regelmatig en voor diverse productieprocessen de voorkomende endotoxinen-niveaus, inclusief de persoonlijke blootstelling aan stof en endotoxinen, in kaart te brengen. Echter, met de huidige conventionele meetmethoden is dat een klus die enkele dagen vergt, en daarmee niet uitermate geschikt voor gebruik in de (dagelijkse) praktijk.

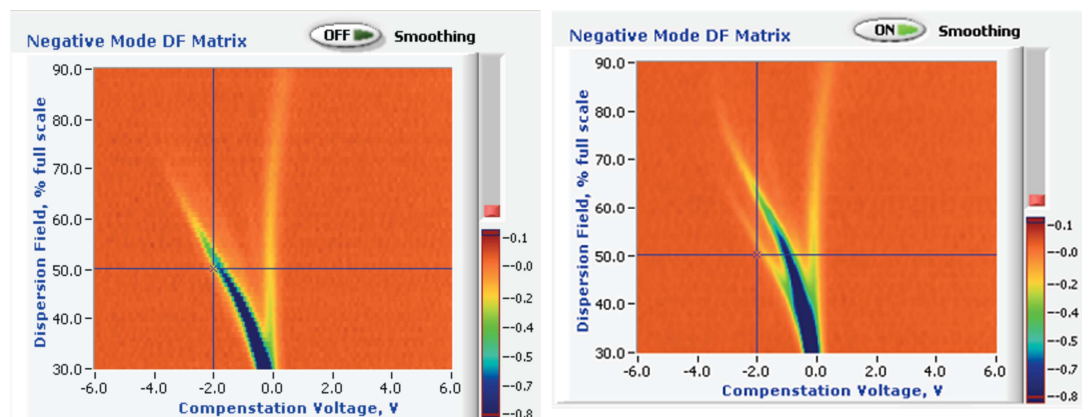
Er is een apparaat op de markt dat de rotting van aardappelen kan monitoren, de Lonestar Portable Analyzer van de firma Owlstone (UK). Dit apparaat kan de vluchtige componenten die vrijkomen met bacteriën die rotting veroorzaken in de lucht waarnemen (zie Figuur 32 en 33) en geeft in korte tijd ter plekke een uitslag. De techniek is gebaseerd op Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry (FAIMS).

Bij FAIMS worden moleculen geïoniseerd en daarna waargenomen op basis van beweeglijkheid in speciale kanalen. Dit apparaat zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden om na oogsten, tijdens opslag of tijdens het sorteren en lezen rotte aardappelen te vinden dan wel de inschatting te maken van de (algemene) kwaliteit van een partij aardappelen. Mogelijk kunnen (met een aantal aanpassingen) met dit apparaat bepaalde stoffen die karakteristiek zijn voor endotoxinen-producerende bacteriën worden gemeten. Hierdoor zou het instrument breder inzetbaar zijn, bijvoorbeeld ook met betrekking tot uien en zaden. Dit zou voor verwerkers en bijvoorbeeld loonbedrijven (tijdens de oogst) een waardevol instrument kunnen zijn om de kwaliteit van een bepaalde partij na te gaan. Ook kunnen daarmee de werknemers beter beschermd worden door

tijdig passende maatregelen te nemen dan wel een partij af te keuren. Directe detectie van endotoxinen zou nog beter zijn. Echter, endotoxinen zweven meestal niet vrij in de lucht rond, maar zijn onderdeel van bijvoorbeeld stofdeeltjes, wat wellicht de detectie via FAIMS bemoeilijkt. Ons advies is om in samenwerking met de leverancier de mogelijkheden voor deze toepassingen te onderzoeken. De kostprijs van het instrument ligt in de orde van 35 tot 40 k€.



Figuur 32: De Lonestar Portable Analyzer van de firma Owlstone



Figuur 33: Detectie van rottende aardappelen d.m.v. field asymmetric ion mobility spectrometry (FAIMS) van componenten in de lucht (links zonder rotte aardappel, rechts met rotting door *Pectobacterium*)

Ten slotte kan het ook wenselijk zijn over een monitor te beschikken die de hoeveelheid endotoxine in het reinigingswater eenvoudig en snel kan bepalen, om te weten wanneer dat water vervangen of gereinigd moet worden.

7 Conclusie en aanbevelingen

Dit rapport beschrijft mogelijk kansrijke mitigatietechnieken, waarmee beroepsmatige blootstelling aan endotoxinen kan worden gereduceerd. Uitgangspunt hierbij was aanpak van de blootstelling bij de bron. Hierbij lag de focus, net als binnen het gehele project, op de verwerking / verpakking van aardappelen, uien, landbouwzaden en tuinzaden.

De beschreven mitigatietechnieken zijn geselecteerd op basis van de resultaten van analyses van de endotoxinen-niveaus op diverse onderdelen van de betreffende productstromen, de gedetailleerde procesbeschrijvingen die in samenwerking met bedrijven uit de sectoren zijn opgesteld, en literatuur met betrekking tot (bestaande) mitigatietechnieken dan wel –methoden en (persoonlijke) blootstelling aan endotoxinen.

Naast mitigatietechnieken die direct ingrijpen op endotoxinen zoals aanwezig op het binnenkomende agrarische product (aardappel, ui, zaad), of op andere bronnen van endotoxinen in het proces (zoals proceswater), worden ook technieken beschreven die de mate van *contact* van de werknemer met de bron van blootstelling verminderen. Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen technieken die al beschikbaar zijn, of met (relatief) kleine aanpassingen geschikt te maken zijn voor de genoemde sectoren, en technieken waarvoor nog aanvullend onderzoek en ontwikkeling nodig is voordat deze in de praktijk kunnen worden toegepast.

Voor alle sectoren geldt het algemene advies om regelmatig de productieruimten en de machines te reinigen. Stof, zand of klei, losse schillen of ander plantmateriaal op de grond of op machines kunnen leiden tot secundaire blootstelling wanneer deze deeltjes, inclusief de daarop aanwezige endotoxinen, weer in de lucht worden gebracht. Bovendien kan in het aanwezige vuil, vooral bij een relatief hoge temperatuur en (relatieve lucht)vochtigheid, groei van micro-organismen optreden. Hierdoor kan wederom een toename van de endotoxinen-niveaus plaatsvinden. Het afval moet daarbij ook afgeschermd dan wel afgesloten worden afgevoerd.

Een ander algemeen advies betreft de luchtbehandeling. Voordat de afgezogen lucht (via lokale afzuiging dan wel ruimteventilatie) weer in een van de ruimtes wordt geblazen, zou deze lucht moeten worden gefilterd om herbesmetting van deze ruimte te voorkomen. Hetzelfde principe kan ook worden toegepast voor uitstoot van de afgezogen lucht naar buiten, om te voorkomen dat de buitenomgeving wordt blootgesteld aan te hoge endotoxineniveaus.

Zonder alle adviezen per sector nog eens te herhalen worden hier enkele specifieke aspecten kort besproken. Voor elk van de gepresenteerde technieken is

het nodig deze in meer detail uit te werken. Aanbevolen wordt de daadwerkelijke effectiviteit van deze technieken (dan wel maatregelen) met betrekking tot de reductie van de hoeveelheid aanwezige endotoxinen dan wel persoonlijke blootstelling in de praktijk verder te onderzoeken.

Aardappelen

Afgaand op de endotoxinen-niveaus die zijn gevonden, en op basis van de vergelijking met bekende blootstellingsniveaus, is het de verwachting dat de blootstelling aan endotoxinen kan worden gereduceerd naar acceptabele waarden door het toepassen van de juiste mitigatietechnieken. Door het toepassen van beschikbare technieken die met kleinere aanpassingen geschikt zouden zijn, kan de bron van blootstelling aan endotoxinen naar schatting met 25 tot 75% worden gereduceerd. Deze (beschikbare) technieken betreffen het afblazen of afborstelen van aanhangend zand, en het automatisch scheiden van aardappelen van plantmateriaal en rotte exemplaren met behulp van de Smart Grader. Indien de aardappelen gewassen mogen worden, is het advies dit zo snel mogelijk (dus vooraan) in het proces te doen, én na te spoelen met vers, schoon water. Deze maatregelen zijn met beperkte investeringen in te voeren, met uitzondering van de Smart Grader, die wel als extra voordeel heeft dat de productkwaliteit en bewaartijd mogelijk groter worden door het verwijderen van eventuele rotte exemplaren. Zorgpunt is verder de beperkte capaciteit van de Smart Grader.

Omdat het viltdoek (in veel gevallen) sterk verontreinigd bleek te zijn met endotoxinen, wordt er een groot effect verwacht van mitigatietechnieken die deze bron aanpakken. Er zijn twee mitigatietechnieken geïdentificeerd die meer ontwikkeling vergen, maar die wel een grote bijdrage kunnen leveren aan het beperken van de blootstelling. Dit betreft het ontwikkelen van een systeem dat het viltdoek continu reinigt, en het drogen van de aardappelen met behulp van luchtmessen in plaats van viltdoek.

Uien

Gezien de hoge endotoxinen-niveaus die zijn gevonden in de uienverpakkingsbedrijven in combinatie met het voorkomen van een hoge (persoonlijke) endotoxinenblootstelling, is de verwachting dat alleen het toepassen van mitigatietechnieken gericht op het product onvoldoende zal zijn om uiteindelijk de blootstelling tot aanvaardbare niveaus te verminderen. Ook het contact van werknemers met het tussen-, afval en eindproduct zal geminimaliseerd moeten worden om blootstelling tot aanvaardbare niveaus te reduceren. De geadviseerde aanpassingen liggen deels bij de teler en deels bij de verwerker.

Een beschikbare techniek die doorontwikkeld zou moeten worden is een bestaande monitor die componenten kan detecteren die bij rotting vrijkomen. Indien deze direct na de oogst wordt ingezet om rotte uien te verwijderen, waarna

de uien bij de teler worden opgeslagen en gedroogd, ontvangt de verwerker droge, niet-rotte uien met een lager niveau aan endotoxinen.

Bij de ontwikkeling van machines die in deze sector worden toegepast, is het (potentiele) effect van het proces op de veiligheid/gezondheid van werknemers niet meegenomen. Door tijdens het ontwerp van nieuwe systemen dan wel aanpassing van bestaande systemen naast productkwaliteit ook aandacht te hebben voor gezondheid van werknemers kunnen waarschijnlijk een aantal grote stappen worden gezet. Zo is het de verwachting dat een grote slag kan worden gemaakt door de uien zo snel mogelijk af te staarten. De techniek om met behulp van roterende messen af te staarten bestaat al, en wordt in veel gevallen al uitgevoerd in een afgescheiden ruimte. Winst is nog te halen in het nog beter controleren van het proces. Dit kan door middel van relatief beperkte aanpassingen, zoals het beter afsluiten, afschermen en afzuigen, en een meer frequente reiniging. Beschikbare technieken waarmee losse vellen en los zand of klei als bron zo veel mogelijk kan worden verwijderd, zijn borstelen, 'windziften' en 'plakken'. Ook hierbij is de verwachting dat weinig innovatie dan wel doorontwikkeling nodig is voordat deze technieken in de praktijk kunnen worden toegepast. Echter, de effectiviteit van deze technieken moet wel in de praktijk worden onderzocht.

Zaden

Er is een grote variatie in de gevonden endotoxinen-niveaus in productmonsters evenals er een grote variatie in blootstellingsniveaus wordt gerapporteerd in deze sector. Afhankelijk van de situatie varieert daardoor de potentie van mitigatietechnieken met betrekking tot het reduceren van de blootstelling van werknemers tot aanvaardbare niveaus van 'niet nodig' tot 'ook contact met het geschoonde product zal geminimaliseerd moeten worden'. In het algemeen geldt dat binnen deze sector al een grote variatie aan schoningstechnieken wordt ingezet voor het verwijderen van zand, plantmateriaal en ander aanhangend vuil. Zand, plantmateriaal en ander aanhangend vuil vormen de belangrijkste bron van aanwezige endotoxinen. Grote kansrijke nieuwe technieken met betrekking tot het aanpakken van deze bron zijn vooralsnog niet geïdentificeerd. De inschatting is dat er met name moet worden gezocht naar *optimalisatie* van bestaande processen. Eventueel vind deze optimalisatie plaats samen met een andere combinatie van bestaande technieken dan wel een andere volgorde van toepassen van de technieken. Hierbij is het van belang om zo vroeg mogelijk in het verwerkingsproces grote schoningsstappen uit te voeren, en deze processen onder zo gecontroleerd mogelijke omstandigheden uit te voeren. Dat wil zeggen: beter afgesloten, en met betere ventilatie en afzuiging. Verder is het de verwachting dat er een grote hoeveelheid kennis met betrekking tot (de praktische toepasbaarheid van) verschillende schoningstechnieken aanwezig is bij de huidige leveranciers van schoningsmachines. Door naast productkwaliteit ook de veiligheid/gezondheid van werknemers mee te nemen in het ontwerp van nieuwe systemen dan wel

aanpassing van bestaande systemen kunnen waarschijnlijk een aantal grote stappen worden gemaakt.

7.1 Meest interessante vervolgactiviteiten

Een deel van de adviezen in deze rapportage zal kunnen worden opgepakt door de bedrijven zelf, deels in samenwerking met de leveranciers van (bestaande) procesapparatuur of van mitigatietechnieken. Hierbij is onder andere van belang dat een 'schone' werkplek onderdeel wordt van het eisenpakket van machines, en leveranciers hier ook op bevraagd worden. Hetzelfde geldt voor de (aantoonbare) effectiviteit van beheersmaatregelen.

Twee typen van vervolgactiviteiten waarbij een bijdrage van TNO, eventueel in samenwerking met andere (onderzoeks)instituten, waardevol zou kunnen zijn worden hieronder aangestipt. Dit betreft 1) het bepalen van de effectiviteit van bestaande technieken, en 2) mogelijkheden op het gebied van technologische innovaties.

1. Bepalen van de effectiviteit van bestaande technieken

Het gaat hierbij om technieken die weinig of zelfs geen verdere doorontwikkeling behoeven, en die met (relatief) kleine aanpassingen in te passen zijn in de bestaande procesvoering. Van de meeste bestaande en deels ook al toegepaste technieken is de effectiviteit met betrekking tot reductie van blootstelling in de praktijk nooit (goed) onderzocht. Voordat op grote schaal wordt geïnvesteerd in de aanpak en implementatie van een bepaalde techniek, is het wenselijk om de bijdrage van deze technieken aan de benodigde reductie in de blootstelling te bepalen. Ook moet hierbij de *relatieve* bijdrage van de diverse technieken ten opzichte van elkaar worden onderzocht. Hiertoe kunnen effectiviteitsstudies worden uitgevoerd. In deze studies worden bij de inzet van een specifieke techniek vóór- en nametingen uitgevoerd, of (indien mogelijk) metingen waarin de betreffende techniek afwisselend in- en uitgeschakeld is. Deze laatste optie is gezien de grote variabiliteit tussen bedrijven, partijen product en dergelijke te prefereren. Dergelijke effectmetingen zijn voor diverse mitigatietechnieken in diverse sectoren interessant:

- Borstelen, windziften of 'plakken' uien;
- Vergelijking van diverse schoningstechnieken voor zaden;
- Borstelen of afblazen aardappelen;
- Wassen aardappelen en naspoelen met schoon water;
- Vergaande afscherming van het was- en drogingsproces bij aardappelen;
- Afscherming (overkapping) en ventilatie leesbanden – aardappelen en uien.

Naast effectiviteitsmetingen kan TNO het inpassen van technieken in het verwerkingsproces ook ondersteunen door het inzetten van specifieke expertise

met betrekking tot implementatieprocessen. Hierin spelen zowel de techniek, de mens en de organisatie, en hun onderlinge samenhang, een rol.

2. Technologische innovaties

a. Drogen van aardappelen (aardappelsector)

Van de twee opties die in het kader van viltdoek als bron van endotoxinen worden genoemd (systeem voor continu reinigen viltdoek of drogen met behulp van luchtmessen), is de methode om te drogen met behulp van een luchtmes relatief het meest ontwikkeld. In principe bestaat deze techniek al, en deze wordt al toegepast in andere sectoren. Wel zou een aanpassing nodig met betrekking tot de schaal van het proces in aardappelverwerkende bedrijven, en het ontwerp van de processen en installaties in deze sector. Of een en ander voldoende innovatief is om binnen de kaders te vallen van een ontwikkelingsproject met inbreng van TNO's SamenwerkingsMiddelen Onderzoek (SMO) is daarom de vraag. Hierdoor zouden mogelijk andere wegen geëxploreerd moeten worden.

De optie om een installatie te ontwikkelen waarmee het viltdoek continu wordt gerecirculeerd en gereinigd vereist nog wel veel onderzoek en ontwikkeling. In samenwerking met leveranciers van viltroog-installaties of reinigingsmachines zou een SMO-project kunnen worden opgezet.

b. Sensor / detectie van endotoxinen

In het kader van het project Branche Innovatie Agenda Endotoxinen is het idee om een snelle, online sensor te ontwikkelen voor de detectie van endotoxinen in de productstroom dan wel de lucht (werkomgeving) al geopperd. Ook in het huidige project is deze optie weer naar voren gekomen. Hoewel detectie van (de aanwezigheid van) endotoxinen op zichzelf uiteraard geen reductie in blootstelling oplevert, kan het wel bijdragen aan het snel zichtbaar maken van probleemgevallen (bijvoorbeeld sterk vervuilde partijen product). Het is bekend dat de endotoxinen-niveaus op producten sterk kunnen variëren. Een snelle sensor kan bedrijven de mogelijkheid bieden hierop in te spelen, waardoor 'overdimensionering' van beheersmaatregelen als gevolg van het nemen van de 'worst-case' situatie als uitgangspunt worden voorkomen. De hoge kosten die nodig zijn om in iedere uitzonderlijke situatie de blootstelling voldoende te beheersen, bijvoorbeeld door vergaande afscherming en afzuiging, kunnen hierdoor in de hand worden gehouden. Hiervoor is het wel nodig dat bedrijven daadwerkelijk actie ondernemen bij het aantreffen van hoge endotoxineniveaus. Dit kan het tijdelijk gebruiken van persoonlijke beschermingsmiddelen zijn, of het weigeren van partijen product met zeer hoge endotoxineniveaus.

Groot voordeel van de ontwikkeling van een snelle sensor is dat deze breed zou kunnen worden ingezet in allerlei sectoren: agrarische sectoren die nu nog niet in het project zijn opgenomen (zoals bloembollen, champignons, diervoeder, veeteelt), de afvalverwerkende sector. Daarnaast kan de sensor ook ingezet

kunnen worden in nieuwe of opkomende sectoren waarin endotoxinen en probleem kunnen gaan vormen, zoals de toepassing van 'biobased grondstoffen' voor de energievoorziening of in de chemische industrie.

In principe zou men zich verschillende technieken voor kunnen stellen. De voorkeur gaat uit naar een snelle 'online' / 'real time' meetmethode. Momenteel is na monsternamen een tijdrovende en bewerkelijke 'offline' analyse in het laboratorium nodig. Indien een online methode niet mogelijk blijkt, is wellicht een snelle(re) offline methode te ontwikkelen. Met betrekking tot de analysetechniek zijn twee mogelijke benaderingswijzen te onderscheiden, namelijk:

- Detectie van de endotoxinen zelf;
- Het inzetten van een combinatie van verschillende technieken op basis van de eigenschappen van de endotoxinen en de deeltjes waaraan deze gehecht zitten, zoals bijvoorbeeld UV-detectie, infrarood, fluorescentie, en de deeltjesgrootteverdeling. Door middel van kalibratie met behulp van daadwerkelijke endotoxinen-metingen kan zo mogelijk een inschatting kunnen worden gemaakt van de hoeveelheid aanwezige endotoxinen.

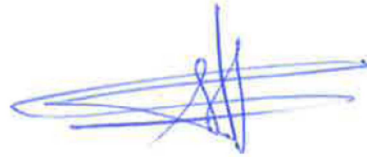
Het ontwikkelen van een snelle sensor of snelle detectiemethode voor endotoxinen zal een 'uitdagend' project zijn, waarvoor onderzoek en ontwikkeling nodig is en een zeker risico aan verbonden is (het is niet zeker dat het lukt). Daarom zou dit onderwerp zich goed lenen voor een samenwerkingsproject met steun vanuit TNO's SMO-financiering.

Ondertekening

TNO, Zeist, 10 november 2014



Han van de Sandt
Research Manager



Suzanne Spaan
Auteur / projectleider

Dankbetuiging

De volgende organisaties hebben een (financiële) bijdrage geleverd aan het project 'Aanpak endotoxinen bij de bron - een schone start' en de totstandkoming van dit rapport. Verder willen we de deelnemende bedrijven hartelijk bedanken voor hun bijdrage aan dit project, deze input was van groot belang voor het slagen van dit project.



Literatuur

Bezerra Silva LA, Nelson-Filho P, Roberto Leonardo M, Rossi MA, Aguiar Pansani C. Effect of Calcium Hydroxide on Bacterial Endotoxin In Vivo. J. Endodontics 2002; 28: 94-98.

Caroff M, Tacken A, Szabó L. Detergent-accelerated hydrolysis of bacterial endotoxins and determination of the anomeric configuration of the glycosyl phosphate present in the "isolated lipid A" fragment of the Bordetella pertussis endotoxin. Carbohydr Res. 1988; 175 (2): 273-282.

Domelsmith LN, Rousselle M-A, Berni RJ. US 4832751 Surface treated silicon rubber. 1989.

Duisterwinkel AE. Gezond schoonmaken: een programma voor betere hygiëne van de werkplek. VSR-vaknieuws nr. 3, Vereniging Schoonmaak Research (VSR), Tilburg, 2004.

Duisterwinkel AE. Desinfectie methodisch bekeken. Tijdschrift voor Hygiene en Infectiepreventie 2009; 1: 10-13.

Dusseldorp A, Sijnesael PCC, Heederik D, Doekes G, van de Giessen AW. . Intensieve veehouderij en gezondheid. Overzicht van kennis over werknemers en omwonenden. RIVM Briefrapport 609300006, RIVM / IRAS, Universiteit Utrecht, Bilthoven, 2008.

Ellen H, Vermeij I, Winkel A, van Emous R. BBT Fijn stof, rapport 476, Wageningen UR Livestock Research, mei 2011.

Dutkiewicz J, Krysinska-Traczyk E, Skórska C, Cholewa G, Sitkowska J. Exposure to airborne microorganisms and endotoxin in a potato processing plant. Ann. Agric. Environ. Med. 2002; 9: 225-235.

European Commission (EC) (1998). Directive 98/24/EC of 7 April 1998 on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work (<http://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety/osh-directives/75>).

FDA, 2014 (bezocht op 7 juli 2014). Chapter V. Methods to Reduce/Eliminate Pathogens from Produce and Fresh-Cut Produce. Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh and Fresh-Cut Produce.

(<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/SafePracticesforFoodProcesses/ucm091363.htm>)

Fletcher MA, McKenna TM, Quance JL, Wainwright NR, Williams TJ. Lipopolysaccharide detoxification by endotoxin neutralizing protein. *J. Surg. Res.* 1993; 55: 147-154.

Gezondheidsraad. Endotoxines – Health based recommended occupational exposure limit. Publicatie no. 2010/04OSH, Den Haag, 2010.

Gil MI, Selma MV, López-Gálvez F, Allende A. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology* 2009; 134: 37–45.

Heederik D, Wouters I, Doekes G. Onderzoek naar endotoxine blootstelling in de zaaizaadsector (vertrouwelijk). Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit van Utrecht, Utrecht, mei 2001.

Infomil, 2014 (bezocht op 7 juli 2014). Lucht in het Activiteitenbesluit - Luchtvoorschriften voor de voedingsmiddelenindustrie (<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/lucht-in-het/voedingsmiddelen-0/artikel/#Stof>)

Madsen AM, Tendal K, Schlünssen V, Heltberg I. Organic dust toxic syndrome at a grass seed plant caused by exposure to high concentrations of bioaerosols. *Ann. Occup. Hyg.* 2012; 56(7): 777-788.

Magalhães PO, Lopes AM, Mazzola PG, Rangel-Yagui C, Penna TCV, Pessoa Jr. A. Methods of Endotoxin Removal from Biological Preparations: a Review. *J. Pharm. Pharmaceut. Sci.* 2007; 10: 388-404.

NAK. Rapportage stof- en endotoxinemeting, uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse Aardappel Organisatie (NAO). NAK Agro Nederland BV, Emmeloord, 2001.

Nakata T. Destruction of typical endotoxins by dry heat as determined using LAL assay and pyrogen assay. *J. Parenter Sci. Technol.* 1993; 47 (5): 258-264.

Nijdam R, de Wolf J, Jelle Doosje J. Gezamenlijke reactie landelijke GGD werkgroep intensieve veehouderij en GGD Nederland op advies Gezondheidsraad 'Gezondheidsrisico's rond veehouderijen'. 10 december 2012. (<http://www.ggdkennisnet.nl/?file=11113&m=1355149222&action=file.download>)

Olsen N, Nolte P. Cleaning and Disinfecting Potato Equipment and Storage Facilities. University of Idaho, June 2011.

Ongkudon CM, Danquah MK. Analysis of Endotoxins Removal from Clarified Cell Lysates by Divalent Metal Cations-Induced Aggregation. Separation Science and Technology 2014; 49: 39–46.

Smit LAM, Wouters IM, Hobo MM, Eduard W, Doekes G, Heederik D. Agricultural seed dust as a potential cause of organic dust toxic syndrome. Occup. Environ. Med. 2006; 63: 59-67.

Smit LA. Respiratory effects of endotoxin exposure: individual susceptibility and gene-environment interactions. Proefschrift Universiteit Utrecht, 2008a.

Smit LAM, Heederik D, Doekes G, Blom C, van Zweden I, Wouters IM. Exposure-response analysis of allergy and respiratory symptoms in endotoxin exposed adults. Eur Respir J 2008b; 31: 1241-1248.

Spaan S, Wouters I, Heederik D. Onderzoek naar blootstelling aan endotoxinen in de agrarische sectoren van teelt, be- en verwerking en handel. Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht, Utrecht, 2002.

Spaan S. Endotoxin exposure assessment – measurement and characterisation. Proefschrift Universiteit Utrecht, 2008.

Spaan S, Terwoert J, Marquart H, Meijster T. Evaluatie van sectoren op basis van werk-gerelateerde gezondheidseffecten door stoffenblootstelling. TNO-rapport V9408, TNO, Zeist, 2011.

Spaan S, Gröllers-Mulderij M, van Duuren-Stuurman B, Terwoert J. Endotoxinen-niveaus op productmonsters van aardappelen, uien en zaden in het kader van kansrijke mitigatietechnieken. TNO-rapport TNO 2014 R10455, TNO, Zeist, november 2014.

Steffen H, Zumstein P, Rice RG. Fruit and vegetables disinfection at SAMRO, Ltd. Using hygienic packaging by means of ozone and UV radiation. IOA Conference and Exhibition Valencia, Spain, October 29-31 2007.

Stof, pak 't aan. De aanpak van blootstelling aan endotoxinen in de agro-foodsectoren. Position paper, 2011.

Takada K, Ohno N, Yadomae T. Detoxification of lipopolysaccharide (LPS) by egg white lysozyme. FEMS Immunology and Medical Microbiology 1994; 9:255-263.

Yi Y, Lai C, Jian Y, Xiong W, Mei J, Ying G. Preparation and Characterization of Magnetic Chitosan Microspheres for Endotoxin Adsorption. *Separation Science and Technology* 2012; 47: 641–645.

Wagenaar C. Luchtseparatietechnieken: windzifters en de elutriator. *Solids processing* 2014; 3: 12-13.

Zaat V. Onderzoek naar de blootstelling aan inhaleerbaar stof en endotoxinen. NKAL/ IRAS, Utrecht, 2010.

Zaat V, Houba R, Stigter E, Rooijakker J, Wouters I. Onderzoek naar de blootstelling aan inhaleerbaar stof en endotoxinen bij aardappel kleinverpakkingsbedrijven, NKAL / IRAS, Utrecht, 2011.

Zock JP, Heederik D, Kromhout H. Exposure to dust, endotoxin and micro-organisms in the potato processing industry. *Ann. Occup. Hyg.* 1995; 39 (6): 841-854.