



Veiligheidseisen Additive Manufacturing Aeronamic

*Afstudeerscriptie Integrale Veiligheidskunde
Saxion Hogeschool Enschede*

Philippe Schippers

334549

In opdracht van Aeronamic B.V.

Praktijkcoach: Dhr. P. Oomen

Schoolcoach: Mevr. I. Leusenkamp

31-1-2018

Colofon

Titel

Veiligheidseisen Additive Manufacturing Aeronamic

Datum

9 april 2018

Studie

Integrale veiligheidskunde
Saxion Hogeschool Enschede

Bedrijf

Aeronamic B.V.
Planthofsweg 79
7601 PJ Almelo

Praktijkcoach

Dhr. P. Oomen
Lead Engineer Aeronamic
Peter.Oomen@Aeronamic.com
+31 546 546688

Schoolcoach

Mevr. I. Leusenkamp

Tweede Lezer

Mevr. B. Holtkamp

Student

Philippe Schippers
Studentnummer: 334549
Email: Philippeschippers@gmail.com
Tel. Nr.: 06 53142761

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie over het onderzoek naar het veilig inrichten van de Additive Manufacturing proeffabriek van Aeronamic. Dit onderzoek is als afstudeeropdracht uitgevoerd bij Aeronamic locatie Almelo, voor de opleiding integrale veiligheidskunde van de hogeschool Saxion te Enschede.

Dit onderzoek liep synchroon met de installatie van de proeffabriek van Aeronamic. Het onderzoek heeft als focus het metaalpoeder Inconel 718. Er is nog niet veel bekend over de veiligheidsrisico's van het metaalpoeder. Vanuit Aeronamic was er de behoefte om meer over dit metaalpoeder te weten, met deze scriptie als resultaat.

Vanuit Aeronamic ben ik tijdens mijn onderzoek begeleid door de heer Oomen, de heer van Ramshorst en de heer Lesscher. Ik wil hen bedanken voor de goede begeleiding en betrokkenheid bij dit onderzoek.

Vanuit het Saxion ben ik tijdens mijn onderzoek begeleid door mevrouw Leusenkamp en mevrouw Holtkamp. Ik wil hen bedanken voor de begeleiding tijdens dit onderzoek.

Philippe Schippers, Almelo

31 januari 2018

Samenvatting

De lucht- en ruimtevaartbranche is continu bezig met innovatie. Door producten slimmer te ontwerpen kan gewicht worden bespaard. Minder gewicht betekent in deze branche dat er minder brandstof nodig is voor de vliegtuigen. Met 3D printen is het mogelijk om bestaande producten op een nieuwe en lichtere manier te produceren. Aeronamic tracht door nu te investeren in het 3D printen om de sterke marktpositie te behouden, en mogelijk uit te breiden. Het 3D metaal printen is nog relatief nieuw, daardoor zijn er nog geen eenduidige veiligheidsrichtlijnen of werkvoorschriften. Aeronamic wil een zo goed mogelijk beeld van de veiligheidsvoorschriften en mogelijk gevaarlijke situaties, omdat er gewerkt gaat worden met, onder andere, metaalpoeder. Dit metaalpoeder is mogelijk gevaarlijk voor de gezondheid van de medewerkers.

Door de aanwezigheid van dit veiligheidsrisico is als doel van dit onderzoek geformuleerd: *De veiligheidseisen en veiligheidsvoorschriften betreffende de 3D metaalprinter en de werkzaamheden rond deze printer in de proeffabriek in kaart te brengen. Daarnaast geeft dit onderzoek advies over de veiligheidsmaatregelen die genomen moeten worden om de risico's van het metaalpoeder te beheersen.*

Dit doel wordt bereikt door de probleemstelling van dit onderzoek te beantwoorden: *Hoe kunnen de risico's van het metaalpoeder tijdens het Additive Manufacturing proces in de proeffabriek van Aeronamic worden beheerst?*

Om de probleemstelling te beantwoorden zijn vier onderzoeksvragen opgesteld. Deze onderzoeksvragen beantwoorden elk een deel van de probleemstelling. Naast deze onderzoeksvragen zijn de mogelijke risicoscenario's beschreven. Tot slot is een vergelijking gemaakt tussen de huidige situatie en de ideale situatie voor de inrichting van de proeffabriek van Aeronamic.

Voordat de proeffabriek veilig is in te richting, moeten de gevaarlijke eigenschappen van het metaalpoeder, Inconel 718, worden onderzocht. Uit de resultaten is gebleken dat het metaalpoeder niet explosief is maar wel ernstige schade voor de gezondheid van de medewerkers kan veroorzaken. Dit betekent dat de medewerkers beschermd moeten worden door de juiste persoonlijke beschermingsmiddelen te dragen.

Het poeder waarmee Aeronamic gaat printen bevat de stof nikkel. Mede hierdoor wordt Inconel 718 gezien als een zeer zorgwekkende stof. Aan het opslaan van zeer zorgwekkende stoffen zitten bepaalde voorwaarden. Een voorbeeld van deze voorwaarde is dat moet worden voldaan aan de eisen uit de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 2015 (PGS15). Niet alleen het opslaan, maar ook het afvoeren van zeer zorgwekkende stoffen is gebonden aan regels. In hoofdstuk vier is dit verder beschreven.

Uit de resultaten is gebleken dat gevaarlijke situaties (risicoscenario's) ontstaan wanneer de medewerker wordt blootgesteld aan Inconel 718. Voor deze risicoscenario's zijn op verschillende niveaus maatregelen aanbevolen die ervoor zorgen dat de medewerker veilig kan werken.

Voor de start is door Aeronamic een ideale opstelling van de proeffabriek geschetst. Deze ideale opstelling hield rekening met de veiligheid en de werkbaarheid van de werknemers. Door ruimtegebrek verschilt de huidige- van de ideale situatie. In hoofdstuk zes wordt dit verder beschreven.

Het veilig inrichten van de proeffabriek, en het Additive Manufacturing proces is voor Aeronamic belangrijk. Enkele resultaten van dit onderzoek zijn reeds door Aeronamic overgenomen, en uitgevoerd, om de proeffabriek veilig in te richten. Het waarborgen van de veiligheid in de proeffabriek is een continu proces. Het realiseren van de volgende aanbevelingen zijn stappen in dit proces:

1. Maak binnen het Additive Manufacturing team basisafspraken over de veiligheid binnen de proeffabriek
2. Zonder begeleiding van getraind personeel hebben bezoekers geen toegang tot de proeffabriek
3. Maak voor elke stap in het Additive Manufacturing proces werkinstructies en pas deze werkinstructies aan na het houden van een taak risico analyse
4. Houdt de proeffabriek door middel van Good Housekeeping schoon en train de schoonmakers
5. Neem contact op met een afvalverwerkingsbedrijf om de afvoer van Inconel 718 vast te leggen
6. Richt de proeffabriek, wanneer daar de mogelijkheid voor is, volgens de ideale situatie in
7. Het printen met ander poeder dan Inconel 718 heeft mogelijk gevolgen voor de inrichting van de proeffabriek, test daarom of het poeder explosief is

Deze aanbevelingen zijn beschreven in hoofdstuk 8.

Inhoudsopgave

Colofon.....	2
Voorwoord.....	3
Samenvatting.....	4
1. Inleiding.....	9
1.1 Aeronamic B.V.....	9
1.1.1 Leeswijzer.....	9
1.1.2 Producten.....	10
1.1.3 Afdeling.....	10
1.1.4 Branche.....	10
1.2 Onderzoeksopzet.....	11
1.2.1 Aanleiding.....	11
1.2.2 Doelstelling.....	11
1.2.3 Probleemstelling.....	12
1.2.4 Onderzoeksvragen.....	12
1.2.5 Onderzoeksoverzicht.....	12
1.2.6 Belanghebbenden.....	14
2. Theorie.....	16
2.1 Theoretisch kader.....	16
2.1.1 Relevante begrippen.....	16
2.1.2 Wetgeving.....	17
2.1.3 Relevante theorieën.....	20
2.1.4 Risico scenario's.....	22
2.1.5 Additive Manufacturing proces.....	23
3. Methode.....	26
3.1 Methode en instrumenten.....	26
3.1.1 Geschiktheid methode.....	26
3.1.2 Toepassing instrumenten.....	27
3.2 Analyse kader.....	28
3.3 Betrouwbaarheid en validiteit.....	31
3.3.1 Betrouwbaarheid.....	31
3.3.2 Validiteit.....	31
4 Resultaten.....	33
4.1 Welke eigenschappen van het metaalpoeder zijn een risico voor de veiligheid?.....	34

4.1.1	Gezondheidsrisico's	34
4.1.2	Explosiegevaar	34
4.2	Wat zijn de veiligheidseisen voor het opslaan van metaalpoeder?	36
4.2.1	ADR klasse metaalpoeder	36
4.2.2	PGS15	37
4.3	Welke werkvoorschriften en beschermingsmiddelen zijn voor Aeronamic wenselijk?	40
4.3.1	Ademhaling – gezichtsbescherming	40
4.3.2	Beschermend pak.....	41
4.3.3	Handschoenen	41
4.3.4	Hygiëne – proces condities	41
4.3.5	Werkvoorschriften	41
4.4	Hoe verloopt de nazorg met betrekking tot het gebruik van het metaalpoeder	43
4.4.1	Metaalpoeder afval.....	43
4.4.2	Vuilwaterriool	43
4.4.3	Afvalverwerker.....	44
5.	Risicoscenario's	45
5.1	Aanvoer	45
5.1.1	Ingeboekt poeder Inconel 718.....	46
5.1.2	Ingangscontrole poeder Inconel 718	46
5.2	Opslag	47
5.2.1	Opslag verkeerde locatie Inconel 718.....	47
5.2.2	Uitgifte goederen voor productie	47
5.3	Productie	48
5.4	Nabewerking.....	49
5.5	Nazorg	50
5.6	ATEX	51
5.6.1	Zonering	52
5.6.2	NPR 7910-2.....	52
5.6.3	Betekenis zonering.....	57
6.	Huidige situatie	58
6.1	Indeling ruimtes	58
6.2	Opslag Inconel 718.....	59
6.2.1	Poederbunker	59
6.2.2	Opslagkast	59

6.2.3	Argon.....	59
7.	Conclusie.....	61
7.1	Risicovolle eigenschappen Inconel 718	61
7.2	Veiligheidseisen voor het opslaan van Inconel 718.....	61
7.3	Werkvoorschriften en beschermingsmiddelen.....	62
7.4	Nazorg Inconel 718	62
7.5	Risicoscenario's.....	62
7.6	ATEX	63
7.7	Huidige situatie	63
8.	Aanbevelingen	64
8.1	Werkvoorschriften	64
8.2	Nazorg.....	65
8.3	ATEX	65
8.4	Huidige situatie	65
	Bibliografie	66
	Bijlage.....	69
	Bijlage 1 Brandveiligheidsopslagkast	69
	Bijlage 2 PGS15	71
	Bijlage 3 Beschermingsmiddelen	72
	Bijlage 4 PGS 15.....	77
	Bijlage 5 Berekeningen.....	78
	Bijlage 6 ATEX.....	79
	Bijlage 7 MSDS Inconel 718 EOS	84

1. Inleiding

Het eerste hoofdstuk begint met algemene informatie zodat de lezer een beeld krijgt bij Aeronamic, wat het bedrijf doet en in welke branche het actief is. Vervolgens wordt de onderzoeksopzet beschreven.

1.1 Aeronamic B.V.

Aeronamic is een specialistisch bedrijf in de lucht- en ruimtevaartsector. Het bedrijf vindt zijn oorsprong bij Urenco. In 2005 is Aeronamic zelfstandig geworden. Op dit moment heeft Aeronamic twee vestigingen. De vestiging in Almelo telt ongeveer 140 werknemers. De andere vestiging bevindt zich in Sibiu Roemenië. Hier werken ongeveer 45 mensen. Het werknemersaantal is niet constant, dit komt door vakantiekrachten en tijdelijke werknemers. De plannen om een derde vestiging te openen zijn er. Wanneer deze nieuwe vestiging in gebruik wordt genomen is nog niet bekend. Op dit moment is Aeronamic nog een MKB maar binnen enkele jaren zal het een groot bedrijf zijn. Er wordt een sterke groei verwacht, dit komt mede door het binnenhalen van de Joint Strike Fighter (JSF) order. Ook is er een intentieverklaring getekend voor het onderhoud van een JSF systeem.

1.1.1 Leeswijzer

In het eerste hoofdstuk, *inleiding*, wordt het bedrijf Aeronamic aan de lezer voorgesteld. Zo krijgt men een beeld bij het bedrijf en de omgeving waar dit onderzoek wordt gedaan. Daarnaast worden de aanleiding, het doel, de probleemstelling en de onderzoeksvragen van het onderzoek beschreven. De aanleiding van het onderzoek is de behoefte vanuit Aeronamic om de veiligheidseisen en voorschriften rond 3D printen in kaart te brengen, omdat de werknemers mogelijk een gezondheidsrisico lopen. Het doel van dit onderzoek is om de veiligheidseisen, voorschriften en werkzaamheden betreffende de 3D metaal printer in kaart te brengen. Daarnaast wordt er advies gegeven over de veiligheidsmaatregelen die genomen moeten worden om de risico's van het metaalpoeder te beheersen.

In het tweede hoofdstuk, *theorie*, wordt ingegaan op de theoretische onderbouwing van dit onderzoek. Dit wordt gedaan door middel van het theoretisch kader bestaande uit relevante begrippen, relevante theorieën en wetsartikelen. Daarnaast wordt het Additive Manufacturing proces beschreven. Dit proces is belangrijk omdat bij elke stap in het proces veiligheidsmaatregelen moeten worden genomen.

In het derde hoofdstuk, *methode*, worden de gebruikte methoden en instrumenten beschreven. Het analysekader en de betrouwbaarheid en validiteit van dit onderzoek worden vervolgens beschreven.

In het vierde hoofdstuk, *resultaten*, worden de resultaten van het onderzoek beschreven. Hier wordt er antwoord gegeven op de verschillende onderzoeksvragen.

In het vijfde hoofdstuk, *risico scenario's*, worden de risico scenario's voor Aeronamic besproken. Deze risicoscenario's zijn naar voren gekomen tijdens de Failure Model and Effects Analyses (FMEA) die is uitgevoerd.

In het zesde hoofdstuk, *huidige situatie*, wordt de huidige situatie vergeleken met de ideale situatie voor de proeffabriek. De verschillen worden beschreven en hier wordt een conclusie uit getrokken.

In het zevende hoofdstuk, *conclusie*, wordt een conclusie getrokken uit dit onderzoek. Het antwoord op de probleemstelling wordt in dit gedeelte van het onderzoek gegeven.

In het achtste hoofdstuk, *aanbevelingen*, worden er aanbevelingen gedaan over hoe Aeronamic de proeffabriek en het AM proces veilig in kan richten. Daarnaast worden er aanbevelingen gedaan over wat er moet worden gedaan om het proces in de toekomst voor de medewerkers zo veilig mogelijk te maken.

1.1.2 Producten

Aeronamic maakt verschillende producten van hoogwaardige kwaliteit. Deze producten ontwerpt Aeronamic zelf of andere bedrijven. De Load Compressor 350 is een product waar Aeronamic design holder van is. Dit product regelt de stroom en de druk wanneer de motoren van het vliegtuig niet draaien. Aeronamic produceert subsystemen voor de vliegtuigindustrie met zeer snel roterende delen, waarvan de kritische delen binnen Aeronamic worden geproduceerd. Deze onderdelen moeten aan de hoge eisen van de luchtvaart voldoen. Aeronamic heeft zichzelf op de kaart gezet door de order van de JSF binnen te halen. Het bedrijf maakt de start en koelsystemen voor de F35, ook wel JSF genoemd.

1.1.3 Afdeling

Dit onderzoek wordt officieel uitgevoerd op de afdeling Management en Communicatie. Dit komt door het ontbreken van een aparte veiligheidsafdeling binnen Aeronamic. Dit is typerend voor een MKB. Ook de Additive Manufacturing (AM) werkgroep waarbinnen dit onderzoek wordt uitgevoerd is officieel geen aparte afdeling. Deze werkgroep is sturend in dit onderzoek, omdat de gedeelde begeleiding vanuit deze werkgroep komt. Daarnaast wordt er samengewerkt met de preventiemedewerker van Aeronamic om de aanwezige kennis binnen Aeronamic zo goed mogelijk te benutten. Ondanks dat het onderzoek officieel wordt uitgevoerd bij de afdeling Management en Communicatie, zijn de werkgroep AM en de preventiemedewerker sturend in dit onderzoek.

1.1.4 Branche

Zoals al in de naam naar voren komt zit Aeronamic in de lucht- en ruimtevaartsector. Aeronamic is gevestigd op hetzelfde bedrijventerrein als Enrichment Technology Company (ETC), dat centrifuges voor Urenco produceert. Dit betekent dat het bedrijventerrein streng beveiligd is. Men komt niet naar binnen met een smartphone of opname apparatuur zonder dat hier toestemming voor is verleend. Alle nieuwe werknemers worden door de AIVD gescreend. Wanneer de nieuwe werknemers door de screening zijn gekomen, ontvangen zij een badge waarmee het terrein kan worden betreden. Tot deze tijd moet elke ochtend bij de beveiliging het identiteitsbewijs worden gecontroleerd. Vervolgens wordt de contactpersoon gebeld die de bezoeker ophaalt bij de bewaking.

Doordat de beveiliging aan bepaalde eisen voldoet, heeft Aeronamic ook orders binnen kunnen halen van grote Amerikaanse bedrijven, zoals de order van de JSF. De Amerikanen stellen hoge eisen aan de beveiliging van gegevens en het terrein waar het bedrijf is gevestigd wanneer er wordt gewerkt met vertrouwelijke informatie.

Aeronamic maakt niet alleen onderdelen voor de grote afnemers, maar repareert ook onderdelen. Doordat Aeronamic veel processen zelf uitvoert, is zij minder afhankelijk van andere bedrijven. Hierdoor heeft Aeronamic kortere wachttijden op bepaalde onderdelen of handelingen die moeten

gebeuren. Dit scheelt tijd voor de klanten. In de lucht- en ruimtevaartsector is het gebruikelijk om te werken met langlopende contracten. Dit heeft als voordeel dat er bedrijfszekerheid is. Aeronamic heeft een goede naam opgebouwd en heeft haar vaste afnemers. Door deze goede relaties en langlopende contracten kan Aeronamic gemakkelijk een lange termijn planning maken. Het bedrijf maakt een sterke groei door. Dit heeft te maken met de branche waarin het bedrijf actief is en het specialistische werk waarmee het bedrijf zich onderscheidt.

De lucht- en ruimtevaartsector heeft een bijdrage van 2.5% aan het totaal BBP van Nederland. Dit is ongeveer 15 miljard euro. In de sector werken ongeveer 125.000 mensen. Internationaal gezien doet de sector het in Nederland erg goed. De jaarlijkse groei van de sector ligt op 4-5%, dit is 150% hoger dan het gemiddelde van andere landen. Nederland staat bekend als kennisland. Dit is ook terug te zien in de lucht- en ruimtevaart sector. Over het algemeen werken bij Aeronamic mensen met een HBO-universitaire graad (Luchtenruimtevaart, 2016).

1.2 Onderzoeksopzet

In de onderzoeksopzet wordt eerst de aanleiding van dit onderzoek besproken. De doelstelling komt voor uit de aanleiding die vervolgens is vertaald naar de probleemstelling van dit onderzoek. Om de probleemstelling uit te werken is deze onderverdeeld in onderzoeksvragen.

1.2.1 Aanleiding

De aanleiding voor dit onderzoek is de behoefte van Aeronamic om een 3D metaalprinter aan te schaffen. In eerste instantie was het de bedoeling dat de proeffabriek zou worden ingericht op een locatie buiten vestiging Almelo, uiteindelijk is de proeffabriek op locatie Almelo ingericht. Hier is voor gekozen om de concurrentie voor te blijven en vertrouwd te raken met de technologie. De verwachting is dat AM een belangrijke bijdrage gaat leveren in de maakindustrie van de toekomst (TNO, 2017). Door nu te investeren in de techniek tracht Aeronamic haar sterke positie vast te houden en mogelijk uit te breiden. Het 3D metaal printen is nog relatief nieuw, daardoor zijn er nog geen eenduidige veiligheidsrichtlijnen of werkvoorschriften. Aeronamic wil een zo goed mogelijk beeld van de veiligheidsvoorschriften en mogelijk gevaarlijke situaties, omdat er gewerkt gaat worden met, onder andere, metaalpoeder. Dit metaalpoeder is mogelijk gevaarlijk voor de gezondheid van de medewerkers.

1.2.2 Doelstelling

Aeronamic is een specialistisch bedrijf dat inzet op de techniek van morgen. Om een sterke positie te behouden, wil Aeronamic inzetten op Additive Manufacturing. Door deze printer aan te schaffen tracht Aeronamic haar voorsprong te behouden door onderdelen goedkoper en lichter te produceren. Met AM kunnen producten op een manier gemaakt worden, wat met de huidige techniek niet mogelijk is. Bij deze metaalprinter komen vele nieuwe en onbekende risico's kijken. Er is nog geen eenduidige standaard, doordat de techniek relatief nieuw is.

Het metaalpoeder dat bij 3D printen gebruikt wordt is gevaarlijk voor de gezondheid van de mens. Daarnaast is er mogelijk een hoog brand en explosiegevaar. Het poeder vat snel vlam, bijvoorbeeld bij het vervangen van het printerfilter. Deze combinatie maakt het metaalpoeder gevaarlijk om mee te werken. Het doel van dit onderzoek is om de veiligheidseisen en veiligheidsvoorschriften betreffende de 3D metaalprinter en de werkzaamheden rond deze printer in de proeffabriek in kaart te brengen. Daarnaast geeft dit onderzoek advies over de veiligheidsmaatregelen die genomen moeten worden om de risico's van het metaalpoeder te beheersen.

1.2.3 Probleemstelling

Hoe kunnen de risico's van het metaalpoeder tijdens het Additive Manufacturing proces in de proeffabriek van Aeronamic worden beheerst?

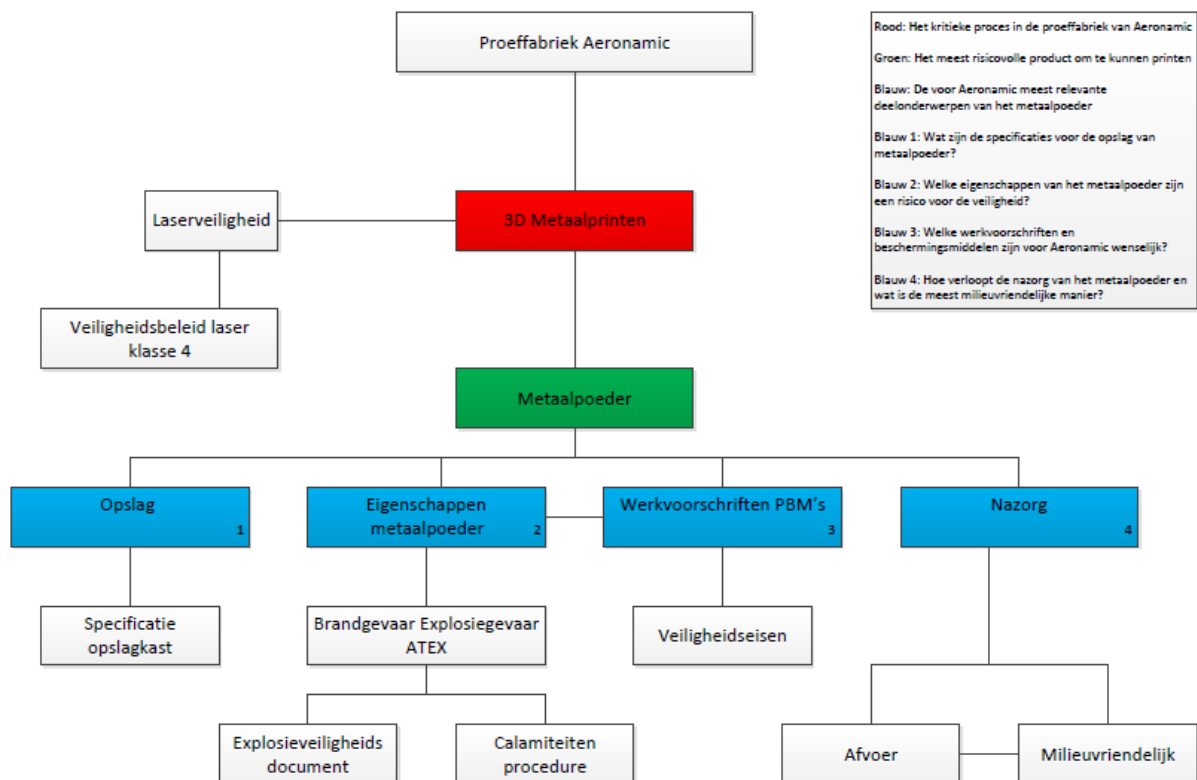
1.2.4 Onderzoeksvragen

Om de probleemstelling te kunnen beantwoorden zijn er vier onderzoeksvragen opgesteld. De onderzoeksvragen dekken elk een deel van de probleemstelling. Het metaalpoeder vormt het grootste risico tijdens het Additive Manufacturing proces. Het onderzoek richt zich om die reden op het metaalpoeder. Doordat het poeder mogelijk explosief is mag het niet zonder bescherming opgeslagen worden. Het onderzoek moet uitwijzen of het poeder explosief is. Er moet worden onderzocht wat de eisen zijn voor het opslaan van metaalpoeder. Dit wordt onderzocht in onderzoeksvraag één. Doordat het 3D metaalprinten nog relatief nieuw is, is er nog niet veel bekend over het metaalpoeder. Dit heeft Aeronamic tijdens bedrijfsbezoeken aan instellingen met een 3D metaalprinter ervaren. De omgangsstandaard met het metaalpoeder verschilt per instelling. Als voorbeeld werd bij instelling A gebruik gemaakt van een asbestpak. Bij instelling B waren de persoonlijke beschermingsmiddelen minimaal: hier droeg men slechts handschoenen en werkkleding. Door het ontbreken van een eenduidige standaard wil Aeronamic dit onderzoeken. Het verschil tussen het wettelijk minimum en strevingsniveau van Aeronamic wordt hierbij meegenomen. Naast veiligheid zet Aeronamic in op milieuvriendelijke werkprocessen. Tijdens de nazorg van het metaalpoeder wordt de meest milieuvriendelijke manier van afvoer onderzocht. De onderzoeksvragen zijn in overleg met Aeronamic gerangschikt.

1. Welke eigenschappen van het metaalpoeder zijn een risico voor de veiligheid?
2. Wat zijn de veiligheidseisen voor het opslaan van metaalpoeder?
3. Welke werkvoorschriften en beschermingsmiddelen zijn voor Aeronamic wenselijk?
4. Hoe verloopt de nazorg met betrekking tot het gebruik van het metaalpoeder?

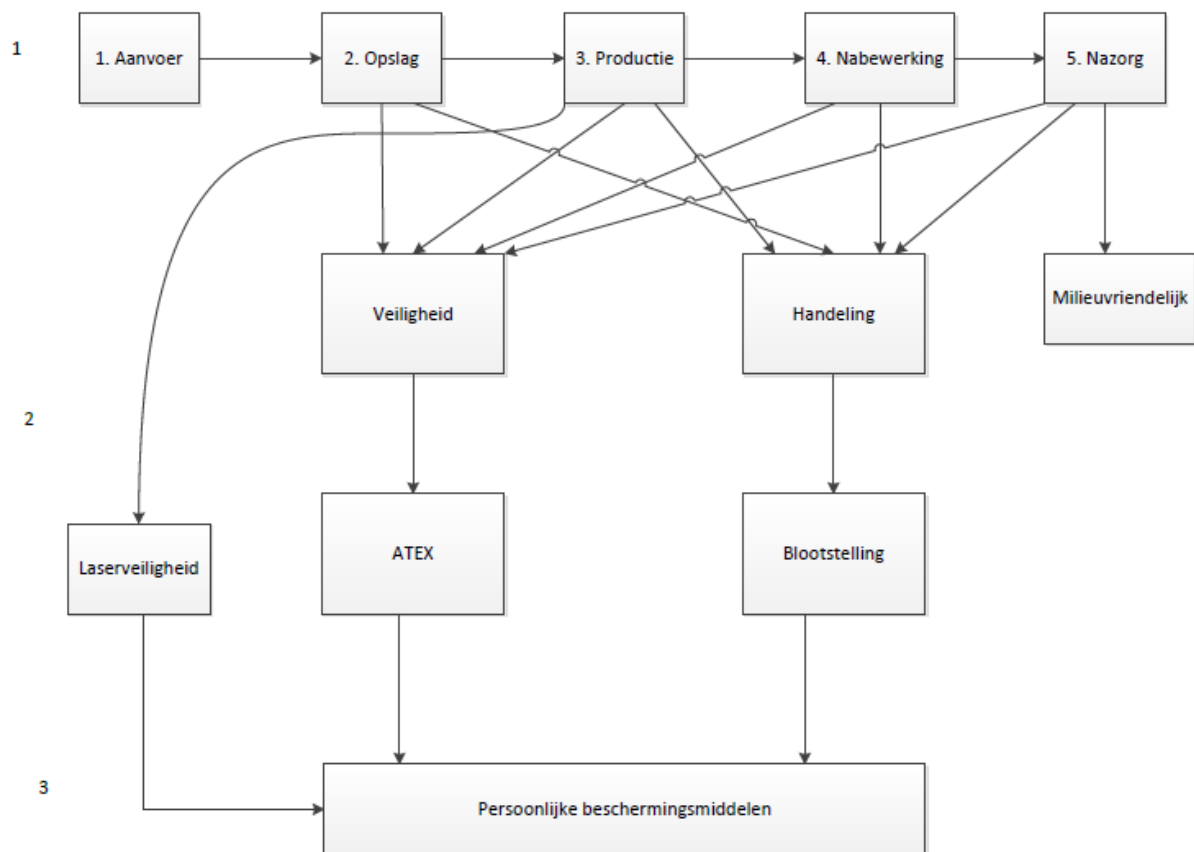
1.2.5 Onderzoeksoverzicht

Om het overzicht over het onderzoek te bewaren zijn de volgende modellen opgesteld. Het eerste model, Figuur 1, beschrijft de belangrijke onderdelen van het onderzoek en hoe deze tot stand zijn gekomen. Het tweede model, Figuur 2, is een combinatie van het Additive Manufacturing proces en de onderzoeksonderdelen. Het AM proces voor Aeronamic wordt in het theoretisch kader beschreven.



Figuur 1: Onderzoeksopzet

De blauw vakken beginnen en eindigen met dezelfde stappen van het AM proces die voor dit onderzoek van belang zijn (opslag en nazorg). De eigenschappen van het metaalpoeder bepalen de persoonlijke beschermingsmiddelen, en de werkvoorschriften. Dit zijn de twee belangrijkste veiligheidsonderwerpen van het AM proces en staan daarom in dit model centraal.

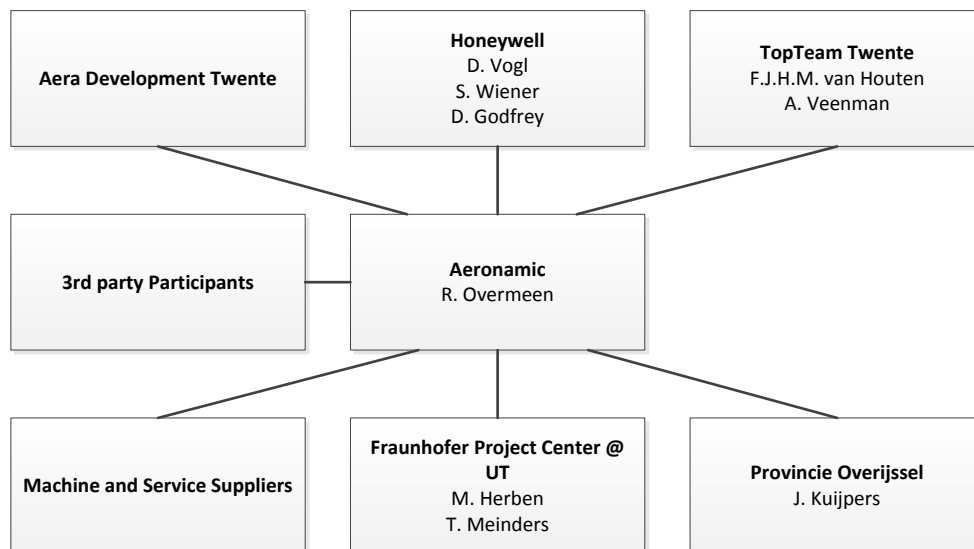


Figuur 2: Combinatie Additive Manufacturing proces en onderzoeksopzet

Bovenstaand model zoals weergegeven in Figuur 2, is een combinatie van het onderzoeksoverzicht en het AM proces van Aeronamic. De belangrijke componenten van het onderzoek komen bij elke stap in het proces terug. De cijfers '1 2 3' komen overeen met de arbeidshygiënische strategie. Om de fabriek zo veilig mogelijk in te richten is deze strategie noodzakelijk. In het theoretisch kader wordt de arbeidshygiënische strategie nader beschreven.

1.2.6 Belanghebbenden

Bij het 3D print project van Aeronamic zijn verschillende partijen betrokken. Om het overzicht te bewaren is er gekozen voor een figuur en een tabel om de verschillende rollen die de belanghebbenden spelen te beschrijven.



Figuur 3: Belanghebbenden Additive Manufacturing

Name	Role	Interest
AERONAMIC	Project coordinator	Metal Additive Manufacturing printing capabilities for Aerospace Applications
FPC@UT	Project partner: Research	To perform research and technology programs and to bring manufacturers up to series production capabilities
Honeywell	Customer	Develop supply chain for Additive Manufacturing
Area Development Twente	Area Development former Air Force Base Twente	Increase Economic regional strength
Provincie Overijssel	Facilitator	Increase Economical strength
Top Team Twente	Facilitator	Deploy Technology Base Twente
Machine and Service supplier	Providing Machine and Services	Develop new business in additive manufacturing
3 rd Party Participants	Project users	Metal Additive Manufacturing printing capabilities

Tabel 1: Belanghebbenden Additive Manufacturing

Aeronamic – Het bedrijf heeft de 3D metaal printer aangeschaft en gaat dagelijks met de printer werken. Om de marktvorsprong te behouden investeert het bedrijf veel in AM.

Provincie Overijssel – De provincie heeft een budget beschikbaar gesteld dat als subsidie dient voor het AM project. Het doel van de provincie is om de technische sector in de provincie te stimuleren. Als project coördinator is Aeronamic verplicht om de provincie op de hoogte te houden van de ontwikkelingen en de kennis te delen.

FPC – Het Fraunhofer Project Center is de partner van Aeronamic in dit project. Zij zorgen voor het onderzoek dat mede wordt gedaan door studenten van de UT. Door gebruik te maken van de kennis van FPC en de praktische kennis en kunde van Aeronamic leren beide partijen.

Honeywell – Dit is de grootste afnemer van Aeronamic en de partij die het product/proces moet certificeren. In de Verenigde Staten werkt Honeywell ook met AM. Door Honeywell te betrekken in dit project kan het certificeren eenvoudiger worden. Het is de bedoeling dat dit voor beide partijen eenvoudiger gaat door in dit project samen te werken.

2. Theorie

2.1 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt het theoretisch kader en daarnaast de relevante begrippen voor het onderzoek beschreven. In het theoretisch kader worden twee theorieën beschreven. Daarnaast worden er verschillende incidentscenario's geschetst.

2.1.1 Relevante begrippen

De begrippen die belangrijk zijn voor het formuleren en beantwoorden van de onderzoeksvragen worden in dit onderdeel beschreven. Daarnaast wordt er meer achtergrond gegeven over de processen die binnen Aeronamic worden gebruikt.

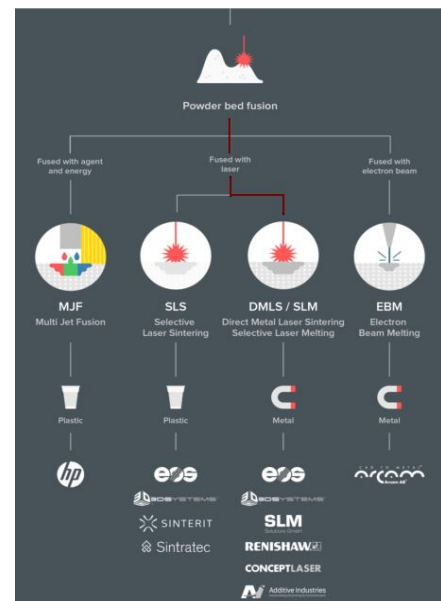
Additive Manufacturing – 'Additive Manufacturing (AM) is an appropriate name to describe the technologies that build 3D objects by *adding* layer-upon-layer of material' (Additive Manufacturing, 2017). Bij Additive Manufacturing gaat het om het bouwproces van 3D modellen en objecten. Onder Additive Manufacturing vallen verschillende processen waaronder 3D printen. De afbeelding hiernaast geeft een schematisch overzicht van de verschillende onderdelen van AM.

Het schema hiernaast geeft een duidelijk beeld van de techniek binnen AM waar dit onderzoek zich op focust. Binnen AM wordt DMLS / SLM toegepast.

Direct Metal Laser Sintering – 'Direct Metal Laser Sintering or DMLS is an additive manufacturing technique for metal 3D printing that was developed by EOS. It uses a laser as a power source in order to sinter metal powder by aiming a laser and tracing a cross section of the object layer by layer. Direct Metal Laser Sintering is similar to the selective laser sintering process' (Sculpteo, 2017). DMLS is een techniek binnen AM voor het 3D printen van objecten. Er wordt bij deze techniek gebruik gemaakt van een laser om het metaalpoeder dat wordt gebruikt, per laag, gedeeltelijk te smelten. Hierdoor wordt het model laag voor laag opgebouwd tot het eindproduct dat als 3D model is ontworpen.

Selective Laser Melting – 'Selective Laser Melting (SLM) is an additive manufacturing technique that can print metal parts in 3D. A laser is used to melt metallic powder in specific places' (Sculpteo, 2017). Bij SLM wordt er gebruik gemaakt van een laser om het metaalpoeder te smelten om het 3D per laag op te bouwen. Het verschil met DMLS is dat de laag bij SLM wordt gesmolten. Bij DMLS worden de verschillende lagen gedeeltelijk gesmolten. Aeronamic gaat beide technieken toepassen.

3D printen – 'The action or process of making a physical object from a three-dimensional digital model, typically by laying down many thin layers of a material in succession' (Oxforddictionaries, 2017). Het 3D printen is de gangbare term voor het 'printen van een 3D model'.

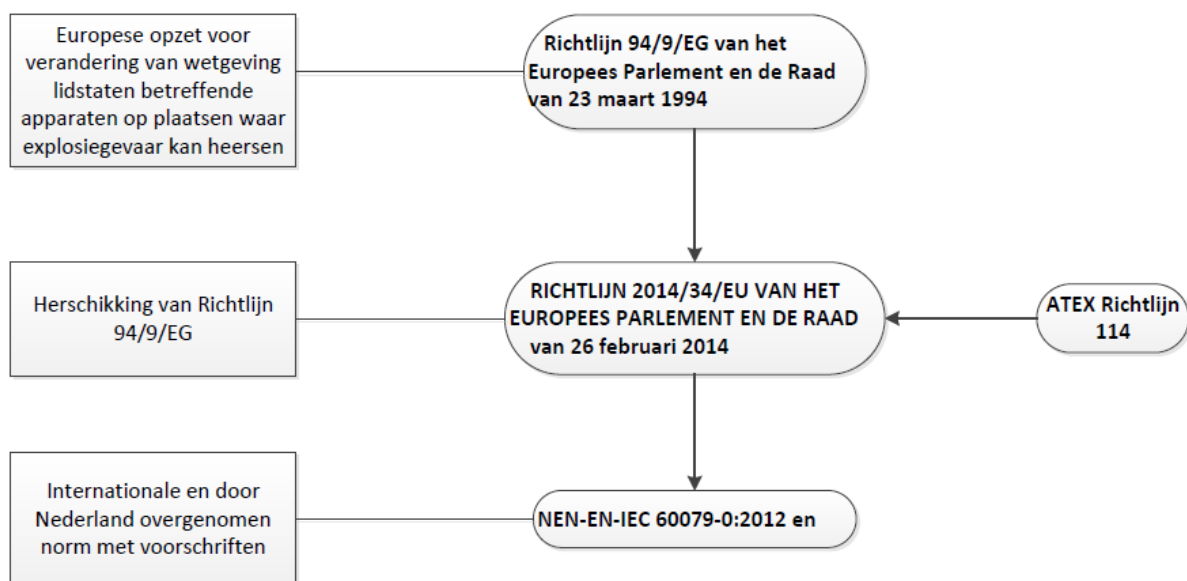


Figuur 4: Additive Manufacturing

Pilot plant – Dit is de proeffabriek waar de 3D metaalprinter van Aeronamic komt te staan. Dit was gepland bij het STODT te Hengelo. Lopende dit onderzoek is de locatie van de proeffabriek gewijzigd naar het pand van Aeronamic te Almelo.

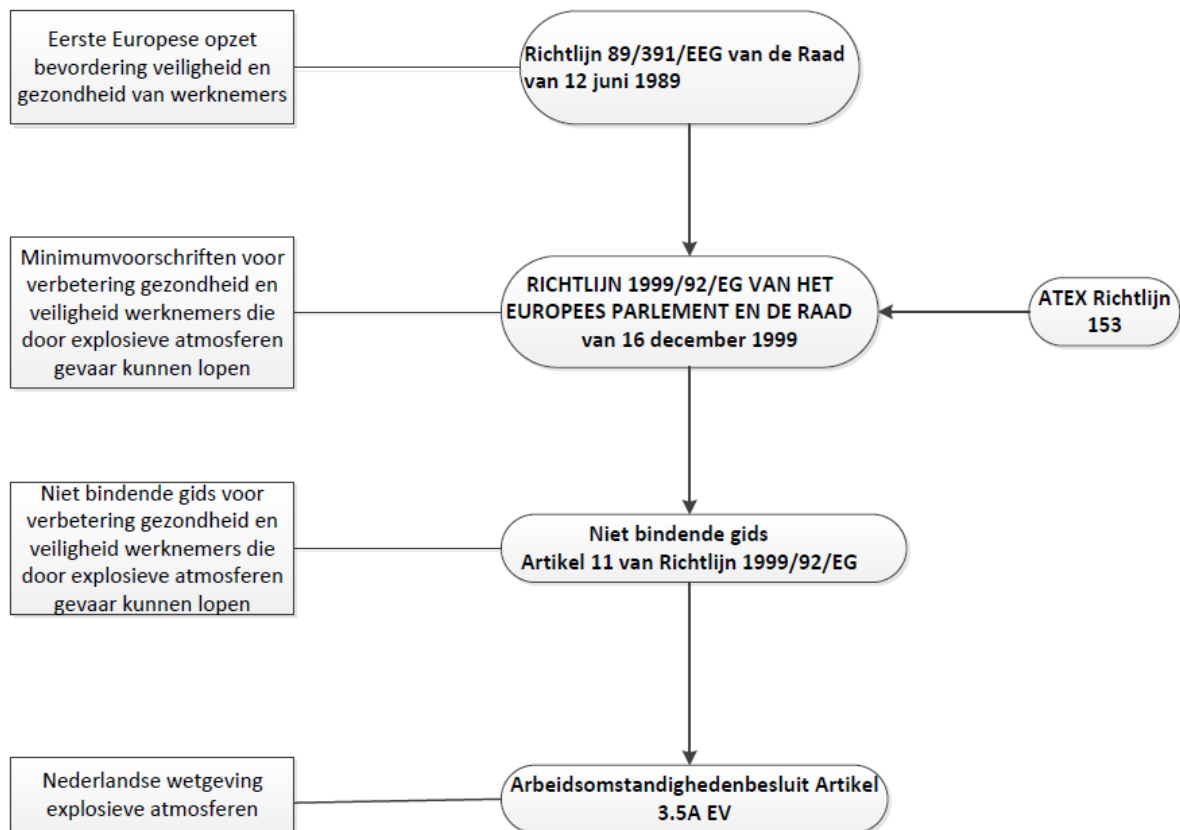
2.1.2 Wetgeving

RICHTLIJN 1999/92/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 16 december 1999 – De richtlijn ‘betreffende minimumvoorschriften voor de verbetering van de gezondheidsbescherming en van de veiligheid van werknemers die door explosieve atmosferen gevaar kunnen lopen (vijftiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG)’ (Europees Parlement, 1999). In deze richtlijn waren minimumvoorschriften vastgesteld om de veiligheid en gezondheid van werknemers in explosieve atmosferen te verhogen. Elke lidstaat had de taak om deze richtlijn in de nationale wetgeving op te nemen dan wel de minimum eisen over te nemen en te herschrijven naar nationaal niveau.



Figuur 5: ATEX richtlijn 114

(Europees Parlement, 1994) (Europees Parlement, 2014)



Figuur 6: ATEX richtlijn 153 (Wetten.nl, 2017)

ATEX – De afkorting ATEX staat voor ATMosphères EXPlosives. Onder een explosieve atmosfeer wordt verstaan: ‘een mengsel van brandbare stoffen in de vorm van gassen, dampen, nevels en stof, onder atmosferische omstandigheden, waarin de verbranding zich na ontsteking uitbreidt tot het gehele niet verbrande mengsel’ (Euronorm, 2016). ATEX is niet alleen een afkorting. Er zijn ook Europees geaccepteerde normen voor ATEX zones gesteld (NEN – EN / NEN – EN – IEC). Deze normen zijn in Nederland overgenomen en herschreven naar nationaal niveau. In Nederland geldt binnen ATEX zones dat men de ATEX richtlijnen moet volgen. Bij fabricage van producten in een explosieve omgeving zijn ook ATEX richtlijnen opgesteld. Dit is een CE richtlijn (Euronorm, 2016).

Er zijn twee belangrijke ATEX richtlijnen. Deze richtlijnen zijn de ATEX 114 en de ATEX 153. De twee richtlijnen worden hieronder toegelicht.

ATEX 114 – ‘De ATEX 114 wetgeving (voorheen bekend als ATEX 95), geeft de relevante informatie voor het waarborgen van de veiligheid voor apparaten die bedoeld zijn voor gebruik op plaatsen waar ontploffingsgevaar kan heersen’ (Euronorm, 2016). De ATEX 114 regeling is bedoeld voor producten die worden geplaatst in zones waar explosiegevaar kan heersen. De risico inventarisatie hangt samen met de ATEX 114 richtlijn.

ATEX 153 – ‘De richtlijn ATEX 153, voorheen 137, is van toepassing op de omgeving, de procedures, de instructies van medewerkers die in een EX omgeving werken. De sociale richtlijn. Een en ander wordt samengevat in een EVD, een Explosie Veiligheids Document’ (Euronorm, 2016). De ATEX 153 richtlijn is van belang voor dit onderzoek. In deze richtlijn zijn procedures en instructies beschreven

over en voor mensen die werken in een explosiegevaarlijke omgeving. Om de proeffabriek volgens veiligheidseisen in te richten is deze norm mogelijk van groot belang.

Explosieveiligheidsdocument – Wanneer er in een omgeving wordt gewerkt waar ATEX richtlijn 153 van op toepassing is, dan is de werkgever verplicht om een explosieveiligheidsdocument op te stellen. In dit document worden verschillen zaken beschreven, zoals de explosierisico's, de genomen maatregelen, zonering, minimumvoorschriften en het veilig beschikbaar stellen van arbeidsmiddelen (Euronorm, 2016). Een explosieveiligheidsdocument dient te worden opgesteld voordat met begint met de activiteiten.

ATEX zonering – Wanneer er binnen een ruimte sprake is van explosiegevaar dan dient deze ruimte ingedeeld te worden in verschillende zones. Deze verschillende zones worden door een aantal facetten bepaald, namelijk de gevarenbronnen, de kans op gevaarlijk mengsel en de hoeveelheid gas en stof die er kan vrijkomen in de ruimte (ATEXcertificaat, 2017). Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende zones (ATEXcertificaat, 2017). De zones worden ingedeeld naar hoe vaak een explosief mengsel kan ontstaan.

Zone	Type explosie	Frequentie
Zone 0	Gas explosie	Altijd of vaak aanwezig >1000 uur per jaar
Zone 1	Gas explosie	Vaak of soms aanwezig >100 <1000 uur per jaar
Zone 2	Gas explosie	Weinig aanwezig <10 uur per jaar
Zone 20	Stof explosie	Altijd of vaak aanwezig >1000 per jaar
Zone 21	Stof explosie	Vaak of soms aanwezig >10 <1000 uur per jaar
Zone 22	Stof explosie	Weinig aanwezig <10 uur per jaar

Tabel 2: ATEX zonering (ATEXcertificaat, 2017)

NEN – EN – IEC – Nederlandse Norm, Europese Norm, International Electrotechnical Commission (NEN, 2017). De NEN normen zijn de normen die in Nederland gelden. Deze normen zijn niet vrijblijvend, want ze zijn opgenomen in de Arbowetgeving. De Nederlandse normen komen voor een groot deel voort uit de Europese normen. De normen worden internationaal bepaald en worden in Nederland in de vorm van NEN toegepast.

NPR 7910-2 – De Nederlandse praktijkrichtlijn 7910-2 gaat over de gevarenindeling bij stofexplosiegevaar. Deze richtlijn is voor Aeronamic van belang als het metaalpoeder explosief blijkt te zijn. In deze richtlijn staat hoe een bedrijf zijn zonering voor explosieve zones moet indelen. De explosiviteit van het poeder is in januari 2018 getest. In de resultaten wordt dit uitgebreider beschreven.

Arbowetgeving – De Arbowetgeving is onderdeel van de wetgeving op het gebied van werkomstandigheden. Deze wet stelt eisen en regels aan werkgevers en werknemers. De Arbowetgeving gaat specifiek over het welzijn, de gezondheid en veiligheid van werknemers op het werk. Middels deze wet wordt getracht het ziekteverzuim en werk gerelateerde ongevallen zoveel mogelijk in te perken. De Arbowetgeving is in drie delen onderverdeeld (Arboportaal, 2016).

Arbowet – Bovenaan de Arbowetgeving staat de Arbowet. In deze wet staan geen specifieke maatregelen of handelwijzen. De Arbowet schetst de richtlijnen die worden gespecificeerd in het Arbobesluit (Arboportaal, 2016).

Arbobesluit – Het Arbobesluit werkt de richtlijnen van de Arbowet verder uit. In de Arbobesluit zijn bindende regels opgenomen die van toepassing zijn op zowel werkgevers als werknemers (Arboportaal, 2016).

Arboregeling – In de Arboregeling zijn concrete voorschriften opgenomen voor de richtlijnen die in het Arbobesluit zijn gesteld. Het gaat hier bijvoorbeeld om de keuring van gereedschappen. Deze praktische zaken zijn vastgelegd in de Arboregeling (Arboportaal, 2016).

PGS 15 – Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 15 gaat over het veilig opslaan van gevaarlijke stoffen. Hierbij wordt met een aantal onderwerpen rekening gehouden, namelijk: kankerverwekkende stoffen en de hoeveelheid van opslag. Boven de 10.000kg zijn er strengere eisen voor de opslag van de gevaarlijke stof dan wanneer er minder stoffen worden opgeslagen. In het geval van Aeronamic wordt de grens van 10.000kg niet gehaald. Wel wordt er gewerkt met een mogelijk kankerverwekkende stof, de CMR stoffen (PGS 15, 2017).

2.1.3 Relevante theorieën

Om de proeffabriek van Aeronamic zo veilig mogelijk in te richten wordt er in dit onderzoek gebruik gemaakt van twee theorieën. De Arbeidshygiënische strategie speelt een rol tijdens de inrichting van de fabriek. Door de fabriek volgens de principes van de Arbeidshygiënische strategie in te richten worden risico's zoveel mogelijk beperkt. Om voorbereid te zijn op mogelijk gevaarlijke situaties wordt het vlinderdasmodel toegepast. Door mogelijk gevaarlijke scenario's te beschrijven en maatregelen hiertegen te nemen, is Aeronamic beter voorbereid op een calamiteit.

1. Arbeidshygiënische strategie

Bij de inrichting van de proeffabriek wordt gebruik gemaakt van de Arbeidshygiënische strategie. De strategie wordt om deze reden ook gebruikt in dit onderzoek. De strategie gaat van een hiërarchische maatregelen structuur uit (Arboportaal, 2017).

Bronaanpak – De eerste maatregel in de Arbeidshygiënische strategie betreft de bron. In dit onderzoek is de bron de 3D metaalprinter. De printer voldoet aan de CE markeringen dus is veilig voor gebruik. De bron zelf kan Aeronamic niet veiliger maken. De veiligheidsrisico's van het metaalpoeder dat de printer gebruikt, kunnen wel verlaagd worden.

Collectieve maatregel – De tweede maatregel betreft de collectieve maatregelen. De collectieve maatregelen zijn bedoeld om elke werknemer in de ruimte beter te beschermen. Denk hierbij aan goede afzuiging en de ATEX indeling van de fabriek mocht het poeder explosief zijn.

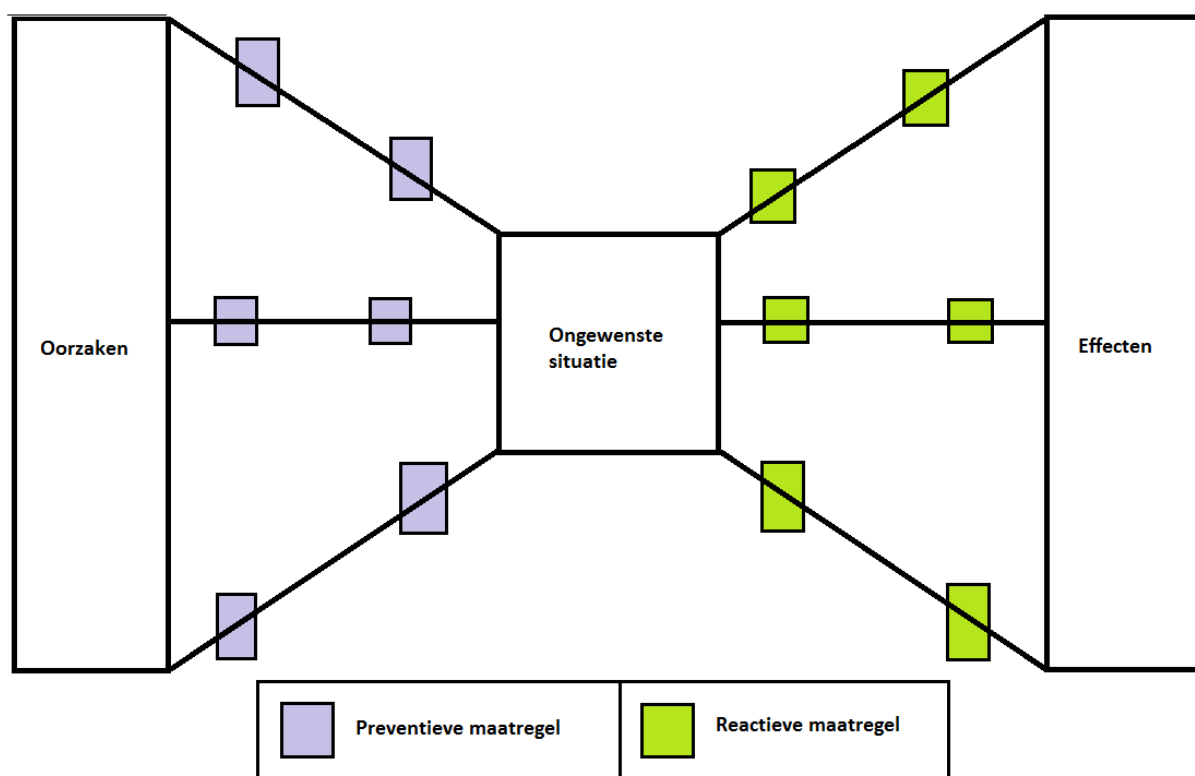
Persoonlijke maatregelen – De derde maatregel is bedoeld om de werknemers zo min mogelijk bloot te stellen aan de gevaren. Hierbij valt te denken aan wisselende roosters zodat niet dezelfde medewerkers telkens worden blootgesteld aan het metaalpoeder.

Persoonlijke beschermingsmiddelen – Om de medewerkers zo goed mogelijk te beschermen wordt gebruik gemaakt van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's). Deze PBM's moeten ervoor zorgen, dat het metaalpoeder niet op de huid van de medewerkers komt of wordt ingeademd, wanneer het vrijkomt. Dit is namelijk schadelijk voor de gezondheid.

Redelijkerwijs principe – De Arbeidshygiënische strategie moet voldoen aan het redelijkerwijs principe. Dit houdt in dat de werkgever alleen een niveau omlaag mag gaan, wanneer er goede redenen zijn. Goede redenen zijn onder andere technische en financiële redenen. De maatregel die is aangedragen moet ook uitvoerbaar zijn (Arboportaal, 2017).

2. Vlinderdasmodel

Het vlinderdasmodel is een preventieve analysemethode om incidenten te vermijden. Bij het model staat de ongewenste situatie centraal. Aan de linkerkant van het model worden preventieve maatregelen bedacht om het incident te voorkomen. Aan de rechterkant van het model worden maatregelen getroffen om het incident zo goed mogelijk te beheersen, de zogenoemde reactieve maatregelen (Schaardenburgh-Verhoeve, 2017). Een voorbeeld van een preventieve maatregel bij brand zou het opslaan van metaalpoeder in een gekeurde brandwerende kast zijn. Hiermee wordt voorkomen dat het poeder kan ontbranden onder normale omstandigheden. Wanneer het poeder toch vlam vat in de kast, dan kan de brand zich niet verspreiden. Een reactieve maatregel om de brand te bestrijden, wanneer er toch brand uitbreekt, is het beschikbaar hebben van juiste blusmiddelen. Immers kan een metaalbrand niet met elk blusmiddel worden bestreden. Onderstaand model geeft het vlinderdasmodel weer.



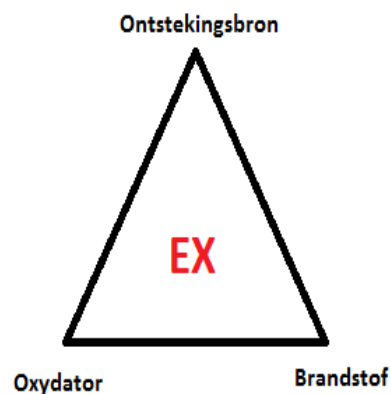
Figuur 7: Vlinderdasmodel

Het vlinderdasmodel wordt bij elk mogelijk scenario van de processtappen gebruikt. Door dit model bij elk scenario te gebruiken kan worden geanticipeerd op mogelijk gevaarlijke situaties. De scenario's en processtappen worden in de volgende paragraaf beschreven.

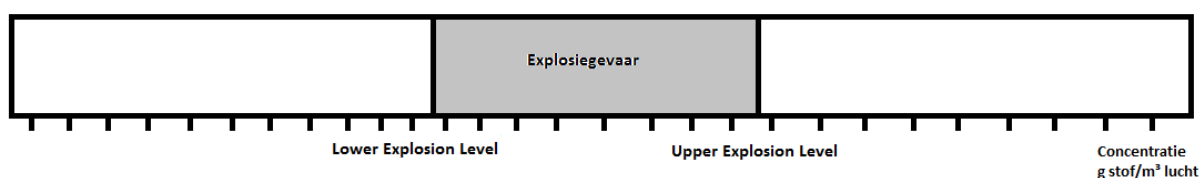
2.1.4 Risico scenario's

Het werken met metaalpoeder brengt verschillende risico's met zich mee. De risico scenario's worden per stap in het productieproces beschreven. De twee belangrijkste risico's zijn stofexplosie en de blootstelling. Onder de blootstelling, het fysiologische risico, wordt verstaan de gevaren voor de gezondheid van de werknemer. De scenario's kunnen voor komen in de proeffabriek van Aeronamic.

Stofexplosie – Bij het werken met metaalpoeder is het mogelijk dat een stofexplosie ontstaat. Voor het metaalpoeder Inconel 718 waar Aeronamic mee gaat printen zijn de explosieve waarden niet bekend. Het kan zijn dat het poeder niet explosief is. In januari 2018 is het poeder getest op explosiegevoeligheid, dit wordt in de resultaten beschreven. Wanneer het poeder explosiegevoelig is, kan de explosie alleen ontstaan bij de juiste verhouding van een oxidator (zuurstof) en brandstof (metaalpoeder) in de betreffende lucht. Daarnaast moet een ontstekingsbron aanwezig zijn. Deze ontstekingsbron kan statische elektriciteit zijn of een vonk tijdens het na bewerken van een 3D geprint product. Ook kan een stofexplosie ontstaan wanneer het poederfilter wordt vervangen en brand is dan het gevolg. Voordat een stofexplosie plaatsvindt, moet de verhouding van zuurstof en brandstof goed zijn. De explosie kan plaatsvinden tussen de LEL (Lower Explosion Level) en UEL (Upper Explosion Level). Wanneer er te weinig brandstof in de lucht is, is een stofexplosie niet mogelijk. De LEL wordt dan niet overschreden. Wanneer er te veel brandstof in de lucht is, kan er ook geen explosie plaatsvinden. Dit is de UEL. De ruimte tussen de LEL en UEL is explosiegevoelig. Dit houdt in dat er explosiegevaar is. Onderstaande afbeelding geeft dit visueel weer (Lampe, 2017).



Figuur 8: Stofexplosie



Figuur 9: Explosiezone

Blootstelling – Bij mogelijke blootstelling aan metaalpoeder moeten persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) worden gedragen. Het metaalpoeder is schadelijk voor de gezondheid van de mens. Vooral de huid, ogen en longen zijn kwetsbaar. Er kan blijvende gezondheidsschade optreden (Particle, 2017). De werknemer kan onvoorzien aan metaalpoeder worden blootgesteld. Een pot met poeder die omvalt waardoor poeder vrijkomt in de ruimte is een realistisch scenario. Om hier beschermd tegen te zijn, is het dragen van PBM's erg belangrijk. Tijdens de verschillende processtappen wordt beoordeeld welke PBM's gedragen moeten worden.

Brand – Bij brand wordt uitgegaan van brand in het bedrijfspand. Het metaalpoeder is hier niet direct de oorzaak van. Hier is voor gekozen omdat, wanneer er brand uitbreekt bij metaalpoeder, dit voortkomt uit een stofexplosie. Het verwisselen van het poederfilter is hier een voorbeeld van. Bij brand in het bedrijfsgebouw moeten de juiste maatregelen worden genomen om de brand niet in

aanraking te laten komen met het metaalpoeder. De juiste blusmiddelen moeten om die reden verspreid zijn over de proeffabriek.

2.1.5 Additive Manufacturing proces

Het Additive Manufacturing proces van Aeronamic is, wat betreft metaalpoeder, in vijf stappen globaal te verdelen. Het proces is nog niet ingericht. De handelingen gaan uit van een proces. De stappen beschrijven een enkel proces, het is niet doorlopend. Dit betekent dat de handelingen zoals het testen van het poeder niet worden meegenomen. De verschillende stappen worden op chronologische volgorde beschreven.

Aanvoer	Product	Specificaties metaalpoeder
---------	---------	----------------------------

Tabel 3: Aanvoer

1. *Aanvoer* – Onder de aanvoer van metaalpoeder wordt de aankoop verstaan. Het product, het metaalpoeder, wordt gekocht bij een leverancier. Het poeder wordt geselecteerd op kwaliteit conform de eisen van Aeronamic. De afdeling inkoop is verantwoordelijk voor de aankoop van het metaalpoeder.

Opslag	Handelingen	Overdracht leverancier naar opslag
	Veiligheid	Specificaties opslagkast
		Hoeveelheid poeder
		ATEX
		PBM's bij vervoer

Tabel 4: Opslag

2. *Opslag* – Bij de opslag van het metaalpoeder speelt de overdracht van de leverancier naar de opslag een rol. Het metaalpoeder moet worden opgeslagen in een explosievrije kast. De veiligheid bij deze handeling is onderverdeeld in vier onderdelen. De specificaties van de opslagkast is een vaste variabele. Bij de indeling van de proeffabriek moet worden onderzocht welke opslagkast noodzakelijk is voor het metaalpoeder. De tweede variabele is hierbij belangrijk, namelijk de hoeveelheid poeder. Hoeveel poeder is Aeronamic van plan op te slaan? De eisen aan een opslagkast hangt af van de hoeveelheid van de explosieve stof. Deze hoeveelheid moet dus vooraf worden onderzocht. Daarnaast moet de variabele ATEX van tevoren worden onderzocht. In wat voor ATEX zone wordt de ruimte van de opslagkast ingedeeld? Wat zijn de preventiemiddelen en hoe te handelen wanneer het mis gaat. Tot slot speelt de variabele persoonlijke beschermingsmiddelen een rol tijdens de overdracht. Deze variabele moet vooraf worden onderzocht. Mogelijk moeten PBM's gedragen worden bij de overdracht van het metaalpoeder voor het geval dat de overdracht niet op de juiste manier gaat.

Productie	Handelingen	Vervoer opslag naar machine
		Overdracht container naar machine
		Afvoer restpoeder na printen
		Vervoer product van 3D printer naar bewerkingsruimte
	Veiligheid	Laserveiligheid
		ATEX
		PBM's

Tabel 5: Productie

3. *Productie* – Bij het gebruik van metaalpoeder moet de medewerker vier handelingen verrichten. Het gaat hier om het vervoer van het metaalpoeder vanuit de opslag naar de 3D metaal printer. Vervolgens moet het poeder vanuit de container of opslag pot in de machine terecht komen. Wanneer deze stap is voltooid, kan de printer dicht en zijn er geen gevaren meer voor de medewerker. Wanneer de printer klaar is met de opdracht moet het restpoeder worden afgevoerd. Dit houdt in dat het poeder dat niet voor het product is gebruikt uit de machine moet worden gehaald. Vervolgens gaat het geprinte product naar de bewerkingsruimte. Hier kan de nabewerking plaatsvinden. De veiligheid bij het gebruik kan worden onderverdeeld in drie variabelen. De 3D metaalprinter werkt met een laser van categorie 4. Dit houdt in dat iedereen die werkt en omgaat met de printer een laserveiligheidstraining moet hebben gevolgd. Daarnaast is ATEX belangrijk. De ruimte moet zo ingericht zijn dat de kans op een explosie zo klein mogelijk is. Deze twee variabelen worden vooraf onderzocht en geïmplementeerd. De laatste variabele is de PBM's. De medewerker komt in contact met metaalpoeder en zal passende PBM's moeten dragen. De PBM's worden van tevoren onderzocht en op het moment van de handeling door de medewerker gedragen.

Nabewerking	Handelingen	Poeder komt vrij
		Poeder afzuiging
	Veiligheid	PBM's
		ATEX

4. *Nabewerking* – Wanneer het product is geprint, moet het worden bewerkt. De supports moeten worden verwijderd en de printplaat moet eraf geslepen worden. Hierbij komt gegarandeerd metaalpoeder vrij. Om deze reden moet de poeder afzuiging krachtig genoeg zijn om de poeders op te kunnen zuigen. Doordat het poeder in deze bewerkingsruimte (de vuile ruimte) komt, moet de ruimte voldoen aan de ATEX richtlijnen. Het explosiegevaar is hier verhoogd. Daarnaast moeten passende beschermingsmiddelen worden gedragen. Deze PBM's worden van te voren onderzocht en gedragen tijdens de handeling.

Tabel 6: Nabewerking

Afvoer	Handelingen	Afvoer overtollig poeder
		Stofzuigen
		Vervangen poederfilters
		Afvoer restmaterialen
		Milieuvriendelijk
	Veiligheid	ATEX
		PBM's

Tabel 7: Afvoer

5. *Afvoer* – Tot slot de nazorg. Tijdens deze nazorg moeten verschillende handelingen worden verricht. De nazorg begint met de afvoer van het overtollige poeder. Wanneer bij de nabewerking gaten in het product worden geboord, kan 'los' poeder vrijkomen. Dit poeder moet worden afgevoerd. Vervolgens wordt de vuile ruimte gestofzuigd met een explosievrije stofzuiger om het poeder te verwijderen dat op de grond is gekomen. De poederfilters worden vervangen en de restmaterialen worden verwijderd. Dit gebeurt op een milieuvriendelijke wijze. De veiligheid die bij de inrichting van de proeffabriek komt kijken, zijn de ATEX eisen aan de vuile ruimte. Door het verhoogde explosierisico moet de ruimte mogelijk volgens ATEX richtlijnen worden ingericht. Daarnaast dienen de PBM's aan de richtlijnen te voldoen. De PBM's die beschikbaar worden gesteld moeten worden gedragen.

3. Methode

In dit hoofdstuk wordt de methode voor dit onderzoek uitgewerkt. Een aantal verschillende onderwerpen komt hierbij aan bod. De geschiktheid van de gekozen methode wordt toegelicht en verantwoord. Daarnaast worden de verschillende instrumenten beschreven en tot slot wordt beschreven hoe de betrouwbaarheid en validiteit van dit onderzoek wordt gewaarborgd.

3.1 Methode en instrumenten

Het onderzoek naar de veiligheidseisen betreffende 3D metaal printen is een kwalitatief onderzoek, omdat vooral wetteksten en rapporten worden bestudeerd. Er wordt geen gebruik gemaakt van grootschalig onderzoek en van data verkregen door een survey. Bij kwantitatief onderzoek is dit wel het geval. Hier maakt men gebruik van een grote dataset die wordt verkregen door het uitzetten van, onder andere, een survey (Bryman, 2012). In dit kwalitatieve onderzoek wordt advies gegeven over de inrichting van de proeffabriek. De veiligheidseisen en veiligheidsvoorschriften zijn leidend in dit onderzoek.

Tijdens dit onderzoek worden verschillende methoden gebruikt om de benodigde informatie te verkrijgen. Het onderzoek zal voornamelijk gebruik maken van literatuurstudie. Verschillende wetteksten en gidsen voor veilig werken met Additive Manufacturing worden bestudeerd. Daarnaast worden mogelijk interviews gehouden met instellingen die reeds bekend zijn met AM en dit veilig hebben ingericht. Een eis hierbij is dat de opstelling van de instellingen vergelijkbaar moet zijn met de plannen van Aeronamic. Wanneer een opstelling niet voldoet aan de algemene veiligheidseisen van Aeronamic, dan is het niet interessant om een interview te houden. Vooraf wordt met Aeronamic besproken welke AM opstelling aan de eisen voldoet en interessant is als informatiebron.

De proeffabriek wordt tijdens dit onderzoek ingericht. Dit heeft als voordeel dat de veiligheidsmaatregelen die worden aangedragen ook in praktijk zichtbaar zijn. Hier wordt met de AM werkgroep van Aeronamic over gesproken. De informatie en documenten van Aeronamic, die voor dit onderzoek van belang zijn, komen vanuit de AM werkgroep. Dit heeft als voordeel dat het delen van informatie snel gaat. Er hoeft niet eerst een officieel interview te worden gehouden om aan informatie te komen. Wanneer het over metaalpoeder gaat, kan de metallurg van Aeronamic worden benaderd.

Doordat gebruik wordt gemaakt van literatuurstudie, interviews en bezoeken aan de proeffabriek, wordt in dit onderzoek zowel gebruik gemaakt van deskresearch als fieldresearch. In dit onderzoek valt onder deskresearch de literatuurstudie en het verkrijgen van informatie en documenten van de AM werkgroep. Onder fieldresearch valt de interviews en de bezoeken aan de proeffabriek die tijdens dit onderzoek wordt ingericht. Per onderzoeksvraag wordt bekeken welke methode of instrument wordt gebruikt. Dit wordt nader uitgelegd in de geschiktheid van de methode.

3.1.1 Geschiktheid methode

Tijdens het onderzoek is het belangrijk dat de gekozen methode de betreffende onderzoeksvraag beantwoordt. De verantwoording over de keuze van de methoden is daarom ook belangrijk zodat de beste manier wordt gekozen om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Per onderzoeksvraag wordt de gekozen methode toegelicht.

Onderzoeksvraag 1 – Welke eigenschappen van het metaalpoeder zijn een risico voor de veiligheid?

Voor de beantwoording van onderzoeksvraag 1 wordt gebruik gemaakt van literatuurstudie, documenten en kennis uit de AM werkgroep. De AM werkgroep bestaat onder andere uit een materiaalkundige. Voor vragen over het metaalpoeder en de werking ervan kan de materiaalkundige geraadpleegd worden. Daarnaast wordt de Arboret bestudeerd over de veiligheidseisen en veiligheidsvoorschriften over het gebruik van metaalpoeder. De veiligheid en gezondheid van de werknemers moet worden gewaarborgd, dit gebeurt door het volgen van de Arboretgeving.

Onderzoeksvraag 2 – Wat zijn de veiligheidseisen voor het opslaan van metaalpoeder?

Deze onderzoeksvraag wordt beantwoord door literatuurstudie. Er zijn eisen en richtlijnen voor het veilig opslaan van gevaarlijke stoffen en ook voor het metaalpoeder (PGS15). Aeronamic is bekend met deze strenge eisen en voldoet hier aan. Voor de opslag van metaalpoeder zullen andere eisen worden gesteld en dit wordt onderzocht door bestudering van onder andere de ATEX richtlijnen en PGS15.

Onderzoeksvraag 3 – Welke werkvoorschriften en beschermingsmiddelen zijn voor Aeronamic wenselijk?

Deze onderzoeksvraag wordt door zowel desk- als fieldresearch beantwoord. Het metaalpoeder is, naast dat het gevaarlijk is voor de gezondheid van de mens, ook mogelijk explosief. Door deze combinatie moet extra voorzichtig worden omgegaan met metaalpoeder. Het metaalpoeder is mede gevaarlijk voor de gezondheid van de mens omdat het zo klein is dat het door de huid heen gaat. Wanneer het poeder wordt ingeademd, komt het niet gemakkelijk uit de longen. De juiste beschermingsmiddelen en werkvoorschriften zijn belangrijk. Door informatie in te winnen bij verschillende partijen kunnen passende veiligheidsmaatregelen worden getroffen voor Aeronamic. Door bij verschillende bedrijven te kijken wordt duidelijk wat Aeronamic wel, en niet, wil. De beschikbare wetteksten en literatuur wordt bestudeerd om tot een passend advies te komen.

Onderzoeksvraag 4 – Hoe verloopt de nazorg met betrekking tot het gebruik van het metaalpoeder?

Deze onderzoeksvraag wordt voornamelijk beantwoord door literatuurstudie. Naast literatuurstudie zal informatie uit de werkgroep worden gehaald. Binnen Aeronamic zijn er documenten met betrekking tot nazorg van metaalpoeder, dus deze zullen worden geraadpleegd. Fieldresearch is hierbij een optie wanneer deskresearch niet tot de gewenste antwoorden leidt.

3.1.2 Toepassing instrumenten

Bij de verschillende methoden van onderzoek die zijn benoemd, horen ook verschillende instrumenten. De gekozen instrumenten worden hieronder toegelicht.

Documenten – Met documenten worden de interne documenten van Aeronamic bedoeld. Er zijn verschillende interne documenten zoals werkinstructies, beleidsstukken en vertrouwelijke documenten. Bij gebruik van vertrouwelijke documenten wordt het gebruik besproken met de praktijkcoach over de inhoud en bruikbaarheid hiervan.

Interview – De interviews die worden gehouden zullen gedeeltelijk gestructureerd zijn. Dit betekent dat er vaste vragen zijn en deze vragen zijn gerangschikt. Naast deze vaste vragen bestaat de

mogelijkheid om op bepaalde onderwerpen door te gaan. Er is gekozen voor een gedeeltelijk gestructureerd interview omdat van te voren onderwerpen zijn opgesteld die besproken moeten worden. De mogelijkheid om door te vragen op deze onderwerpen zal van belang zijn, omdat nieuwe en interessante informatie tijdens het interview kan worden gedeeld. Tijdens een gestructureerd interview kan hier niet op worden ingegaan, omdat niet kan worden afgeweken van de vragenlijst. Een gedeeltelijk gestructureerd interview geeft de ruimte voor improvisatie om zo meer informatie te verzamelen.

3.2 Analyse kader

Om een goed overzicht te hebben over de opbouw van de onderzoeksvragen, zijn deze onderzoeksvragen uitgewerkt in eenheden, variabelen, waarden en indicatoren. Voor elke onderzoeksvraag is een tabel gemaakt, zie de tabellen op de volgende pagina's.

Om structuur in de manier van onderzoeken te krijgen, is ervoor gekozen om bij de onderzoeksvragen te werken met terugkomende waarden. Deze terugkomende waarden zijn 'conform wetgeving' en 'Aeronamic'. Hier is voor gekozen omdat het onderzoek gaat over de veiligheidseisen en –voorschriften bij AM in de proeffabriek. Daarnaast moet een standaard voor Aeronamic worden ontwikkeld. De wetgeving stelt minimum eisen aan de inrichting van de fabriek en het metaalpoeder waarmee wordt gewerkt. Voor Aeronamic is het interessant om te kijken hoe andere bedrijven dit hebben geïmplementeerd. Zitten deze bedrijven op het wettelijk minimum of hebben ze meer gedaan om de veiligheid van de werknemers te waarborgen? Wanneer dit is onderzocht, kan het beeld voor Aeronamic worden opgemaakt. Belangrijk hierbij is het verschil tussen het wettelijk minimum en het gewenste niveau. Bij elke onderzoeksvraag komt deze overweging terug.

De vierde onderzoeksvraag gaat over de nazorg van het metaalpoeder. Hierbij wordt gekeken naar de verschillende methoden die Aeronamic gaat toepassen bij het AM proces. In elke variabele die wordt benoemd, zit metaalpoeder. De manier waarop de nazorg wordt verleend kan per afvalproduct anders zijn. Het zand waarmee wordt gestraald, wordt mogelijk anders afgevoerd dan de filters waar het metaalpoeder in zit. Leidend hierin zijn de wetteksten. Daarnaast wordt gekeken naar de milieuvriendelijkste manier en de inrichting van andere bedrijven die werken met AM.

Welke eigenschappen van het metaalpoeder zijn een risico voor de veiligheid?			
Eenheid	Variabele	Waarde	Indicator
Metaalpoeder	Eigenschappen	Risico veiligheid werknemer	Wat is het risico voor de werknemers?
			Wat zeggen de veiligheidsvoorschriften?
			Zijn de veiligheidsvoorschriften passend voor de proeffabriek?
		Risico veiligheid Aeronamic	Hoe is dit bij andere bedrijven ingericht?
			Past deze aanpak bij Aeronamic?

Tabel 8: Onderzoeksvraag 1

Wat zijn de veiligheidseisen voor het opslaan van metaalpoeder?			
Eenheid	Variabele	Waarde	Indicator
Metaalpoeder	Veiligheidseisen	Conform wetgeving	In welke wetsartikelen is het opgenomen?
			Wat zeggen de wetsartikelen?
	Veiligheidsvoorschrift	Conform wetgeving	In welke wetsartikelen is het opgenomen?
			Wat zeggen de wetsartikelen?
		Aeronamic	Hoe is dit bij andere bedrijven ingericht?
			Past deze standaard bij Aeronamic?

Tabel 9: Onderzoeksvraag 2

Welke werkvoorschriften en beschermingsmiddelen zijn voor Aeronamic wenselijk?			
Eenheid	Variabele	Waarde	Indicator
Metaalpoeder	Beschermingsmiddelen	Conform wetgeving	In welke wetsartikelen zijn de beschermingsmiddelen opgenomen?
			Wat zeggen de wetsartikelen?
		Aeronamic	Hoe is dit bij andere bedrijven ingericht?
			Past dit bij Aeronamic?
	Werkvoorschriften	Conform wetgeving	In welke wetsartikelen zijn de werkvoorschriften opgenomen?
			Wat zeggen de wetsartikelen?
		Aeronamic	Hoe is dit bij andere bedrijven ingericht?
			Past dit bij Aeronamic?

Tabel 10: Onderzoeksvraag 3

Hoe verloopt de nazorg met betrekking tot het gebruik van het metaalpoeder?			
Eenheid	Variabele	Waarde	Indicator
Nazorg	Afvoer poeder	Conform wetgeving	In welk wetsartikel is het opgenomen?
			Wat zegt dit wetsartikel?
		Milieuvriendelijk	Wat is de meest milieuvriendelijke oplossing?
		Aeronamic	Hoe hebben andere bedrijven dit geregeld?
			Past deze standaard bij Aeronamic?
	Afvoer filters	Conform wetgeving	In welk wetsartikel is het opgenomen?
			Wat zegt dit wetsartikel?
		Milieuvriendelijk	Wat is de meest milieuvriendelijke oplossing?
		Aeronamic	Hoe hebben andere bedrijven dit geregeld?
			Past deze standaard bij Aeronamic?
	Afvoer zand	Conform wetgeving	In welk wetsartikel is het opgenomen?
			Wat zegt dit wetsartikel?
		Milieuvriendelijk	Wat is de meest milieuvriendelijke oplossing?
		Aeronamic	Hoe hebben andere bedrijven dit geregeld?
			Past deze standaard bij Aeronamic?
	Afvoer stofzuigerinhoud	Conform wetgeving	In welk wetsartikel is het opgenomen?
			Wat zegt dit wetsartikel?
		Milieuvriendelijk	Wat is de meest milieuvriendelijke oplossing?
		Aeronamic	Hoe hebben andere bedrijven dit geregeld?
			Past deze standaard bij Aeronamic?

Tabel 11: Onderzoeksvraag 4

3.3 Betrouwbaarheid en validiteit

Een onderzoek moet aan bepaalde criteria voldoen. Een voorbeeld van deze criteria zijn betrouwbaarheid en validiteit. Beide begrippen worden onderstaand nader beschreven.

3.3.1 Betrouwbaarheid

‘Reliability is concerned with the question of whether the results of a study are repeatable’ (Bryman, 2012). De betrouwbaarheid van een onderzoek gaat over de mate waarin het onderzoek herhaald kan worden waarna het vervolg onderzoek leidt tot dezelfde resultaten. Dit wordt door Bryman uitgelegd aan de hand van een voorbeeld over de IQ test.

- *‘If we found that IQ tests, which were designed as measures of intelligence, were found to fluctuate, so that people’s IQ scores were often wildly different when administered on two or more occasions, we would be concerned about it as a measure. We would consider it an unreliable measure –we could not have faith in its consistency* (Bryman, 2012).’

Dit voorbeeld van Bryman laat zien dat het belangrijk is dat een onderzoek betrouwbaar is. Wanneer in vergelijkend onderzoek substantieel andere resultaten worden gevonden, kan het originele onderzoek niet als consistent en betrouwbaar worden beschouwd.

Om de betrouwbaarheid van dit onderzoek te waarborgen wordt alleen gebruik gemaakt van bronnen die algemeen geaccepteerd zijn. Sites als Wikipedia worden niet beschouwd als betrouwbare bron.

Bronnen – de bronnen die als betrouwbaar worden gezien zijn wetteksten en normen. Dit zijn verschillende wetten en normen. Een voorbeeld hiervan is de NPR 7910-2. Daarnaast wordt gebruikt gemaakt van de ATEX richtlijnen en de Arbowetgeving.

3.3.2 Validiteit

‘Validity is concerned with the integrity of the conclusions that are generated from a piece of research’ (Bryman, 2012). De validiteit gaat over de integriteit van de conclusies die worden getrokken. Dit houdt in dat gemeten wordt wat gemeten moet worden. In het onderzoek moeten geen systematische fouten worden gemaakt waardoor de integriteit van het onderzoek in twijfel kan worden getrokken. De validiteit kan worden opgesplitst in twee onderdelen die belangrijk zijn.

- Interne validiteit: *‘Internal validity is concerned with the question of whether a conclusion that incorporates a causal relationship between two or more variables holds water’* (Bryman, 2012). Interne validiteit gaat over de causaliteit van variabelen. Wanneer wordt gesteld dat variabele x, variabele y veroorzaakt, hoe is men dan zeker dat daadwerkelijk variabele x is die variabele y verandert en niet iets anders? De causale relatie staat bij interne validiteit centraal. Als voorbeeld voor de interne validiteit in dit onderzoek kan de ontbranding van metaalpoeder worden gebruikt. Bij de standaard verbrandingsdriehoek zorgt een verandering in één van de drie elementen mogelijk voor brand. Bij metaalpoeder is dit hetzelfde. Om er zeker van te zijn dat de juiste conclusies worden getrokken, dat de verandering in bijvoorbeeld het



Figuur 10: Mijnkader brandveiligheid

zuurstofgehalte de oorzaak is voor de brand, worden de ATEX normen en informatie uit de poedermetallurgie gebruikt. Hierin wordt de brandbaarheid en het ontbrandingsniveau van stoffen vermeld. Door de algemeen geaccepteerde normen te gebruiken wordt de interne validiteit van dit onderzoek gewaarborgd.

- Externe validiteit: *'External validity is concerned with the question of whether the results of a study can be generalized beyond the specific research context'* (Bryman, 2012). Externe validiteit gaat over de generalisatie van de onderzoeksresultaten. De bevindingen uit dit onderzoek zullen van toepassing zijn voor andere bedrijven die werken met een 3D metaalprinter. De keuzes die worden gemaakt in dit onderzoek kunnen per bedrijf verschillen, dat ligt aan de prioritering. De bevindingen zullen over het algemeen bij elk ander bedrijf overeen komen. Dit komt, net als bij interne validiteit, door het gebruik van algemeen geaccepteerde bronnen. Denk hierbij aan de ATEX richtlijnen en de NPR 7910-2.

4 Resultaten

4.1 Welke eigenschappen van het metaalpoeder zijn een risico voor de veiligheid?

Het metaalpoeder waarmee wordt gewerkt, Inconel 718, heeft twee risicovolle eigenschappen. Deze twee risicovolle eigenschappen zijn het gezondheidsrisico en het explosiegevaar.

4.1.1 Gezondheidsrisico's

Leidend voor het bepalen van de gezondheidsrisico's van Inconel 718 is het bijbehorende Material Safety Data Sheet (MSDS blad) van EOS, zie bijlage 7. Uit het MSDS blijkt dat het metaalpoeder mogelijk kankerverwekkend is. Verder onderzoek naar het poeder is nodig om met zekerheid te kunnen zeggen dat het kankerverwekkend is. Aeronamic gaat dit onderzoek niet zelf uitvoeren. Naast dat het metaalpoeder mogelijk kankerverwekkend is, is het ook schadelijk voor de huid, de ogen en het ademhalingsstelsel.

Huidcontact – Nadat de huid is blootgesteld aan metaalpoeder treedt huidirritatie op. Het is mogelijk dat dermatitis het gevolg is van de blootstelling. Een rode en jeukende huid zijn hier symptomen van. Herhaaldelijke blootstelling geeft mogelijk chronische huidproblemen.

Oogcontact – Wanneer het oog wordt blootgesteld aan metaalpoeder heeft dit als gevolg dat het oog droog wordt. In het ergste geval is er blijvende oogschade.

Ademhalingsstelsel – Het metaalpoeder is erg schadelijk wanneer het wordt ingeademd. Het is vermoedelijk kankerverwekkend voor de longen en het ademhalingssysteem. Het is mogelijk kankerverwekkend omdat metaalpoeder zwaarder is dan lucht. Doordat het zwaarder is, kan het metaalpoeder niet vanuit de longen op worden gehoest. Hierdoor blijft het in de longen zitten en kan het schade berokkenen in de lange termijn. Zolang er nog onduidelijkheid bestaat over de mogelijkheid dat het metaalpoeder kankerverwekkend is, gaat Aeronamic uit van het slechtste scenario. In dit scenario is het metaalpoeder kankerverwekkend, dus hebben de werknemers de juiste persoonlijke bescherming nodig. Naast dat het vermoedelijk kankerverwekkend is, kan het metaalpoeder ook verschillende allergieën of astma als gevolg hebben. De eerste reactie van het lichaam is moeite hebben met ademen.

De risico's voor de gezondheid van de medewerkers kunnen, zoals benoemd, aanzienlijk zijn. Om de medewerkers tegen deze risico's te beschermen moeten persoonlijke beschermingsmiddelen worden gedragen. Hier wordt in onderzoeksvraag 3 verder op ingegaan.

4.1.2 Explosiegevaar

Onder normale omstandigheden geeft het metaalpoeder geen explosiegevaar. In het MSDS staat dat het poeder niet explosief is maar dat er wel een explosieve stofwolk kan worden gevormd. Aeronamic heeft in januari 2018 Inconel 718 laten testen en hieruit bleek dat het poeder niet explosief is. Onder normale omstandigheden wordt verstaan wanneer het poeder afgesloten in de opslagvoorziening zit. Het poeder is dan opgeslagen in een pot in een speciale opslagvoorziening. Verder wordt onder normale omstandigheden verstaan het gebruik van metaalpoeder. Het metaalpoeder wordt gebruikt tijdens de productie, in de 3D



Figuur 11: Explosie vijfhoek (ATEX, 2014)

metaalprinter. Deze printer is afgesloten en voldoet aan alle veiligheidseisen. Er wordt tijdens het 3D printen gewerkt met argon. Argon heeft de eigenschap dat het zuurstof verdringt. Hierdoor is een component uit de explosie vijfhoek niet aanwezig. Voor een explosie is namelijk, onder andere, zuurstof nodig (ATEX, 2014). Door het gebruik van voldoende argon is een explosie niet mogelijk. Wanneer het zuurstofgehalte te hoog dreigt te worden waardoor de kans op een explosie voor kan komen, schakelt de machine zichzelf uit. Door de verschillende lagen van beveiliging is de kans op een explosie in de machine nihil. Wel is de kans op een explosie mogelijk aanwezig wanneer de medewerker met het metaalpoeder in aanraking komt. Dit kan bij het vullen van de 3D printer zijn of bij het bewerken van het geprinte product. Bij de nabewerking van het product worden supports verwijderd en de bouwplaat van het product gescheiden. Dit zijn voorbeelden van handelingen die tijdens het bewerken worden gedaan. Het verwijderen van supports in het product wordt door de medewerker gedaan. Een mogelijk gereedschap dat bij het bewerken worden gebruikt is een slijptol. Bij het slijpen komen vonken vrij. Kijkend naar de explosie vijfhoek zijn bij de nabewerking bijna alle ingrediënten om een explosie te vormen aanwezig. De juiste mengverhouding is de ontbrekende factor.

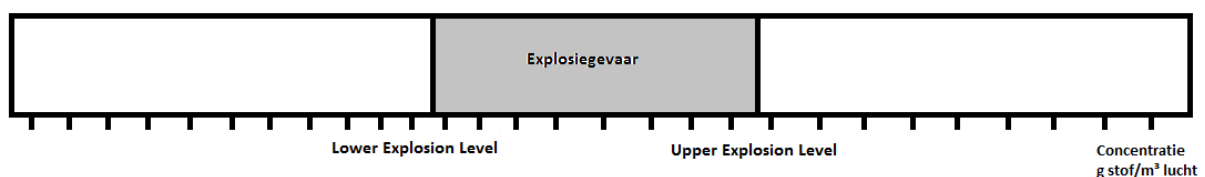
Brandstof – De brandstof voor een explosie is het metaalpoeder. Dit is bij het na bewerken van het product nog aanwezig. Het komt vrij, maar de mate waarin moet nader blijken.

Energie – Bij het na bewerken van het product wordt er geslepen. Dit slijpen zorgt voor de energie die nodig is om de warmte voor de explosie op te wekken.

Katalysator – De katalysator bij een explosie is de stof dat in de lucht terecht komt. Het metaalpoeder is namelijk erg fijn, 10 tot 60 micron, zo fijn dat het als stof door de lucht kan bewegen. Om er voor te zorgen dat er niet te veel stof in de lucht komt, moet de afzuiging sterk genoeg zijn.

Zuurstof – Er wordt in een normale omgeving gewerkt. Dit houdt in dat er geen extra zuurstof regulatie is. Het normale zuurstofgehalte in de lucht is $\pm 20\%$.

Mengverhouding – De mengverhouding moet goed zijn om tot een explosie te komen. Metaalpoeder zelf is niet explosiegevaarlijk. Wanneer het reageert met zuurstof kan het explosiegevoelig worden. De omstandigheden waarin de juiste mengverhouding zich voordoet wordt beschreven door de Lower Explosion Level (UEL) en de Upper Explosion Level (UEL). Nader onderzoek moet uitwijzen wat deze verhoudingen zijn voor Inconel 718. Het belangrijkste bestanddeel van Inconel 718 is Nikkel. Wanneer nikkel reageert met koolstofmonoxide ontstaat nikkelcarbonyl. Van dit gas is bekend dat de LEL 2% per m³ is (mathesongas, 2017). Dit betekent dat niet meer dan 2% van een kubieke meter gevuld mag worden met nikkelcarbonyl. De UEL moet nader worden onderzocht. Totdat onderzocht is wat de LEL en UEL van Inconel 718 zijn, kan dit als maatstaf worden gebruikt. Wanneer de explosiegrenzen van Inconel 718 bekend zijn, kan Aeronamic een stofmeting houden om te bepalen hoeveel stof er in de lucht aanwezig is. Zo kan worden bepaald of de afzuiging voldoende kracht heeft. Onderstaande afbeelding geeft de explosiegrenzen schematisch weer.



4.2 Wat zijn de veiligheidseisen voor het opslaan van metaalpoeder?

In Nederland worden eisen gesteld aan de opslag van gevaarlijke en kankerverwekkende stoffen (CMR stoffen). De eisen aan het opslaan van verpakte gevaarlijke stoffen staan vermeld in de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS15). In 2016 zijn de nieuwste eisen gepubliceerd. PGS15:2016 is leidend voor het veilig opslaan van metaalpoeder voor Aeronamic. Om te weten welke eisen worden gesteld aan de opslag van metaalpoeder moet eerst bekend zijn in welke 'Accord Européen relatif au transport international de marchandises Dangereuses par Route' (ADR) klasse het metaalpoeder valt (RIVM, 2017).

4.2.1 ADR klasse metaalpoeder

Binnen Europa bepaalt de ADR klasse hoe een gevaarlijke stof mag worden vervoerd (RIVM, 2017). De ADR indeling is voor Aeronamic belangrijk omdat de indeling ook in PGS15 wordt gebruikt. Gevaarlijke stoffen worden op basis van hun eigenschappen ingedeeld in de verschillende klassen. Een voorbeeld van een dergelijke eigenschap is brandbaarheid. Onderstaande tabel geeft de ADR klassen weer (ADR, 2017).

Gevaar	Klasse	Subklasse	Kenmerk
Explosief	1		
Gas	2	2.1	Brandbaar
		2.2	Niet brandbaar, niet giftig
		2.3	Giftig
Brandbaar	3		Brandbare vloeistoffen
Brandbaar	4	4.1	Brandbare vaste stoffen + zelfontledende stoffen
		4.2	Zelfontbranding
		4.3	Met water brandbaar gas
Oxiderend	5	5.1	
		5.2	Organische peroxiden (zelfontledend)
Giftig	6	6.1	
		6.2	Infectueus
Radioactief	7		
Bijtend	8		
Divers	9		

Tabel 12: ADR klassen

Tot ADR klasse 4 behoren brandbare vaste stoffen. Zoals uit de tabel hierboven blijkt is ADR klasse 4 onder te verdelen in drie subklassen (RIVM, 2017). Het metaalpoeder is een brandbare vaste stof en hoort daarom binnen de ADR klasse 4.1. Echter, veel stoffen vallen onder ADR klasse 4.1. Om een onderverdeling te maken binnen deze grote klasse zijn subcategorieën gemaakt. Onderstaande tabel geeft een overzicht van die subcategorieën.

F	Brandbare vaste stoffen, zonder bijkomend gevaar	
	F1	Organisch
	F2	Organisch, gesmolten
	F3	Anorganisch
FO	Brandbare vaste stoffen, oxiderend	
FT	Brandbare vaste stoffen, giftig	
	FT1	Organisch, giftig
	FT2	Anorganisch, giftig
FC	Brandbare vaste stoffen, bijtend	
	FC1	Organisch, bijtend
	FC2	Anorganisch, bijtend
D	Ontploffbare stoffen in niet explosieve toestand, zonder bijkomend gevaar	
DT	Ontploffbare stoffen in niet explosieve toestand, giftig	
SR	Zelfontledende stoffen	
	SR1	Waarvoor temperatuurbeheersing niet is vereist
	SR2	Waarvoor temperatuurbeheersing is vereist

Tabel 13: ADR klasse subcategorie

Volgens dit overzicht behoort het metaalpoeder mogelijk tot subcategorie D, omdat het poeder mogelijk ontplofbaar is, maar niet giftig. Voluit zou dit betekenen dat het metaalpoeder dat Aeronamic gebruikt behoort tot ADR klasse 4.1D (Gevaarlijkstoffen, 2017). Uit de explosiegevoeligheidstest van januari 2018 is gebleken dat Inconel 718 niet explosief is. Dit betekent dat het niet tot ADR klasse 4.1D behoort. In de laatste fase van het onderzoek kwam de uitslag van de explosietest. Hoofdstuk 4.2 is geschreven met de kennis dat Inconel 718 explosie is.

4.2.2 PGS15

Nu bekend is dat Inconel 718 is ingedeeld in ADR klasse 4.1D, kunnen de veiligheidseisen voor het opslaan van metaalpoeder in kaart worden gebracht. Hoofdstukken 3 (algemeen) en 8 (opslag verpakte gevaarlijke stoffen ADR klasse 4.1) van PGS15 beschrijven die veiligheidseisen (PGS15, 2016). De eisen worden geciteerd om vervolgens de situatie voor Aeronamic te beschrijven. De 3D metaalprinter van Aeronamic heeft een vulkamer van 20 liter. Zie bijlage 5 voor de berekening. Om zeker te zijn dat er genoeg poeder wordt opgeslagen, wordt tot twee keer de inhoud van de vulkamer van de printer opgeslagen. Maximaal 40 liter Inconel 718, wordt opgeslagen bij Aeronamic. Omgerekend in kilogrammen is dit 332,8 kilogram metaalpoeder. Zie bijlage 5 voor de berekening. De opslagvoorziening moet deze hoeveelheden op kunnen slaan. ADR klasse 4.1 mag op worden geslagen in een opslagvoorziening, zie bijlage 2.

De volgende citaten zijn afkomstig uit PGS 15:2016.

- *‘De WBDBO tussen een opslagvoorziening en een andere ruimte moet ten minste 60 min bedragen in beide richtingen. Deuren, ventilatieopeningen, leidingdoorvoeren of rookluiken in deze constructie mogen geen afbreuk doen aan de vereiste WBDBO.’*

De weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) moet van een opslagvoorziening minimaal 60 minuten bedragen. Dit betekent dat de opslagvoorziening een brand minimaal 60 minuten binnen moet kunnen houden of tegen de brand bestendig moet zijn. De brandveiligheidsopslagkast die Aeronamic gaat gebruiken moet aan deze eis voldoen om geschikt te zijn voor de opslag van metaalpoeder.

- *‘Een brandveiligheidsopslagkast, waarvan het eerste gebruik heeft plaatsgevonden na 1 januari 2006, moet aan NEN-EN-14470-1 voldoen. Een brandveiligheidsopslagkast waarvan het eerste gebruik dateert van vóór die datum moet ten minste voldoen aan NEN 2678. Bij het gebruik van de brandveiligheidsopslagkasten moet tevens worden voldaan aan de eisen van bijlage F. Brandveiligheidskasten met een opslagcapaciteit groter dan 250 kg of ter plaatse gebouwde kasten moeten als een reguliere opslagvoorziening conform Hoofdstuk 3 van deze PGS worden beschouwd.’*

Aeronamic gaat een nieuwe brandveiligheidsopslagkast kopen, hierdoor vindt het eerste gebruik plaats in 2018. Dit is na de gestelde datum van januari 2006. De kast moet om deze reden voldoen aan NEN-EN-14470-1. Deze norm stelt eisen aan de brandveiligheidsopslagkast. Wanneer de kast voldoet aan deze norm is de kwaliteit gegarandeerd. Wanneer Aeronamic ervoor kiest om uit te gaan van de eerder benoemde 350kg metaalpoeder, dan wordt de grens van 250kg, die in PGS 15 wordt genoemd, overschreden. Doordat er dusdanige hoeveelheden worden opgeslagen moet de brandveiligheidsopslagkast van Aeronamic voldoen aan de eisen van een opslagvoorziening. Wanneer Aeronamic besluit om structureel minder dan 250kg metaalpoeder op te slaan, dan mag de kast voldoen aan de speciale eisen voor een brandveiligheidsopslagkast. Dit betekent dat de kast moet voldoen aan de eisen die worden gesteld in hoofdstuk 3.3 van PGS 15. Deze eisen overlappen deels met de eisen voor een brandwerende voorziening maar zijn minder uitgebreid. Voor details zie bijlage 4.

- *‘Binnen de inrichting moet een productcertificaat aanwezig zijn voor de brandveiligheidsopslagkast (waarvan het eerste gebruik heeft plaatsgevonden na 1 januari 2006), waaruit blijkt dat deze voldoet aan de NEN-EN-14470-1.’*

Om aan te kunnen tonen dat de brandveiligheidsopslagkast aan de normen voldoet, moet Aeronamic een productcertificaat hebben. Dit productcertificaat wordt bij de brandveiligheidsopslagkast geleverd.

- *‘Een brandveiligheidsopslagkast mag niet in een vluchtroute zijn gelegen en mag het vluchten niet belemmeren.’*

De precieze bestemming voor de brandveiligheidsopslagkast staat nog niet vast. De ruimte moet nog ingericht worden. Om het poeder dicht bij de machine te houden, komt de kast in de zelfde ruimte als de 3D metaalprinter.

- *‘Binnen een opslagvoorziening moeten bodembeschermende voorzieningen en maatregelen zijn getroffen die leiden tot een verwaarloosbaar bodemrisico conform de Nederlandse richtlijn bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten (NRB). In de vloer van een opslagvoorziening mogen zich geen openingen bevinden die in directe verbinding staan of kunnen worden gebracht met de openbare riolering of met het oppervlaktewater.’*
- *‘Indien een vloer vloeistofkerend is uitgevoerd, moet de vloer periodiek visueel worden geïnspecteerd en moet het opruimen van gelekke of gemorste stoffen zijn gewaarborgd. Hiertoe moet binnen de inrichting een procedure incidentenmanagement aanwezig zijn.’*

De ruimte waar de kast komt te staan is voorzien van een vloeistofkerende vloer. Deze vloer wordt periodiek door Aeronamic geïnspecteerd. Dit gebeurt jaarlijks en wordt gedocumenteerd. Doordat Aeronamic zelf de vloeren inspecteert voldoet het aan de eis die wordt gesteld aan een vloeistofkerende vloer, die mag zelf geïnspecteerd worden (Bodembescherming, 2017). Een vloeistofdichte vloer moet, eens in de zes jaar, door een bevoegde instantie worden gekeurd (bodembescherming, 2017).

- *‘Voor elke opslagvoorziening moet per 200 m2 ten minste één draagbaar blustoestel aanwezig zijn met een vulling van ten minste 5 kg of liter blusstof. Het blustoestel moet tegen weersinvloeden zijn beschermd. De keuze van het type blustoestel moet zo zijn, dat deze geschikt is om een beginnende brand van de opgeslagen stoffen te blussen.’*

Doordat het metaalpoeder onder ADR klasse 4.1 valt moet de brandveiligheidsopslagkast voldoen aan de eisen van een brandveiligheidsvoorziening. Doordat de kast in de ruimte met de 3D printer komt te staan, is er ook een blustoestel aanwezig. Deze wordt namelijk in de machineruimte geplaatst. Wanneer een brand ontstaat, dan is dit een metaalbrand. Metaalbranden zijn moeilijk te blussen en hiervoor moet een blustoestel klasse D worden gebruikt. Dit blustoestel maakt gebruik van poeder dat over de brand heen wordt gespoten.

- *‘De voorschriften uit hoofdstuk 3 zijn eveneens van toepassing op opslagvoorzieningen voor ADR klassen 4.1, 4.2 en 4.3. Hoofdstuk 8 is niet van toepassing op opslag van stoffen van ADR klasse 4.1, 4.2 of 4.3 in een brandveiligheidsopslagkast (zie hoofdstuk 3).’*

Doordat Aeronamic gebruik maakt van een brandveiligheidsopslagkast hoeft het niet te voldoen aan de eisen die worden gesteld in hoofdstuk 8 van PGS 15. Dit hoofdstuk gaat over de ADR klassen 4.1, 4.2 en 4.3.

4.3 Welke werkvoorschriften en beschermingsmiddelen zijn voor Aeronamic wenselijk?

Voor het metaalpoeder zijn verschillende beschermingsmiddelen noodzakelijk. Naast de minimale eisen van de MSDS wordt er een aanbeveling gedaan over de te gebruiken beschermingsmaatregelen, zie bijlage 3. Naast deze aparte PBM's voor het 3D metaal printen, worden bij Aeronamic standaard veiligheidsschoenen gedragen. Sinds eind 2016 worden veiligheidsschoenen ingekocht die ESD veilig zijn. Volgens het MSDS van Inconel 718 moeten maatregelen worden genomen op de volgende gebieden:

1. Ademhaling – gezichtsbescherming
2. Beschermend pak
3. Handschoenen
4. Hygiëne – proces condities

4.3.1 Ademhaling – gezichtsbescherming

Om de werknemer te beschermen worden op het MSDS blad van Inconel 718 eisen gesteld aan de beschermingsmiddelen voor de werknemer. Er worden drie eisen gesteld aan de beschermingsmiddelen.

Ademhalingsmasker – Het ademhalingsmasker moet voldoen aan EN 143. Deze norm wordt gesteld aan ademhalingsmaskers met een deeltjesfilter. Wanneer het masker aan deze norm voldoet, wordt een zekere kwaliteit gewaarborgd.

Filter – Het filter dat in het ademhalingsmasker wordt geplaatst moet een P3 filter zijn. Dit houdt in dat het filter hoge concentraties schadelijke stof moet kunnen tegenhouden. Het filter moet fijnstof tegen kunnen houden. Fijnstof is stof tot 10micron (rivm, 2017). Het metaalpoeder dat bij Aeronamic wordt gebruikt heeft een grootte van 10 – 60 micron.

Advies – Frequent wisselen van het filter wordt aangeraden. De precieze invulling van frequent wordt door Aeronamic in de werkinstructies vastgelegd.

Mogelijkheden bij ademhalingsmasker:

- Halfgelaatsmasker
- Volgelaatsmasker

Een halfgelaatsmasker P3 voldoet aan het minimum dat wordt aangegeven op het Inconel 718 MSDS. Dit halfgelaatsmasker bedekt niet het hele gezicht, maar is bedoeld om het stof dat in de lucht aanwezig is te filteren. Gezichtsbescherming is niet verplicht bij het werken met Inconel 718, maar dit is wel aan te raden. Om het gezicht zo goed mogelijk te beschermen, wordt een halfgelaatsmasker afgeraden. Een beter alternatief is het volgelaatsmasker. Door met een volgelaatsmasker te werken, wordt het risico van blootstelling van Inconel 718 aan ogen en/of gezicht weggenomen. Daarnaast filtert het volgelaatsmasker de stof. Voorbeeld van een volgelaatsmasker is in bijlage 3 te vinden.

4.3.2 Beschermend pak

Volgens het MSDS blad is het niet noodzakelijk om een beschermend pak te dragen bij het werken met Inconel 718. Echter is dit wel aan te raden. Het stof van metaalpoeder is erg fijn, tussen 10-60 micron. Om dit niet op de huid of kleding te krijgen, is een stofdicht pak aan te bevelen. Het pak dient stofdeeltjes van 10 micron of groter tegen te houden. Doordat het poeder kan veranderen tijdens de processen, is het veiliger om een marge aan te houden.

Het beschermende pak waarin wordt gewerkt moet niet oncomfortabel zitten en niet te warm worden. Daarnaast moet het pak antistatisch zijn, omdat in een explosieve omgeving wordt gewerkt. Voorbeeld van een beschermend pak is in bijlage 3 te vinden.

4.3.3 Handschoenen

Voor de handbescherming dienen handschoenen gedragen te worden. Het MSDS blad van Inconel 718 stelt als eis aan de handschoenen dat ze moeten voldoen aan EN 374 en gemaakt zijn van bijvoorbeeld PVA. EN 374 stelt als eis aan de handschoenen dat het bestendig moet zijn tegen chemicaliën en micro-organismen. Daarnaast moet het voldoen aan risicocategorie 3. Risicocategorie 3 biedt de beste bescherming tegen stoffen die ernstige gezondheidsrisico's geven of dodelijk kunnen zijn. Voor meer details over de risico categorieën, zie bijlage 3. Metaalpoeder is een mogelijk kankerverwekkende stof, dus moet de handschoenen voldoen aan risicocategorie 3.

4.3.4 Hygiëne – proces condities

Het MSDS blad van Inconel 718 geeft aan dat er hygiënisch gewerkt moet worden. Er mag niet gegeten worden in de ruimte waar wordt gewerkt met het materiaal. Daarnaast wordt aanbevolen om oogspoel systemen en douches nabij de werkzaamheden met het poeder te hebben. Wanneer een medewerker metaalpoeder in het oog krijgt, kan het oog worden gespoeld. Dit kan blijvende schade aan het oog voorkomen.

4.3.5 Werkvoorschriften

Voor het veilig werken met de 3D printer en het metaalpoeder, moeten werkvoorschriften worden gemaakt. Het maken van deze werkvoorschriften wordt niet tijdens dit onderzoek gedaan. Wel worden de kernpunten van de werkvoorschriften tijdens de risicoscenario's beschreven. Tijdens verschillende scenario's zal gewerkt moeten worden volgens verschillende werkvoorschriften. Onderstaande werkvoorschriften moeten door Aeronamic worden uitgewerkt.

Consumptie – Op de werkvloer van Aeronamic geldt een eet- en drink-verbod. Dit heeft vooral te maken met Foreign Object Debris (FOD) preventie. Tijdens het monteren of repareren van onderdelen moeten er geen etensresten in komen. Wanneer het wel gebeurt, kan dit vergaande gevolgen hebben. Het verbod op eten en drinken is product gerelateerd. In de ruimte van de 3D printen mag niet gegeten of gedronken worden om een andere reden. Het gaat hier om de eigen veiligheid van de werknemer. Door het verbod op eten en drinken wordt de kans verkleind dat de werknemer metaalpoeder middels voedsel consumptie binnenkrijgt. Door het al bestaande verbod is dit geen cultuurverandering binnen Aeronamic. Het verschil is de insteek van het verbod.

Persoonlijke beschermingsmiddelen – Het werkvoorschrift omtrent PBM's heeft meerdere doelen. Het moet bekend zijn dat de 3D ruimte niet mag worden betreden zonder de juiste PBM's te dragen. Daarnaast moet het werkvoorschrift informatie bevatten over hoe de PBM's worden uitgetrokken en wanneer dit gebeurt. Doordat er poeder op de handschoenen achterblijft, moeten de handschoenen

met een speciale techniek worden uitgetrokken. Wanneer dit niet gebeurt, komt metaalpoeder op de handen van de werknemer. Daarnaast wordt in het document opgenomen wanneer de PBM's worden uitgetrokken. De 3D ruimte mag niet verlaten worden terwijl er nog PBM's worden gedragen. Wanneer dit wel gebeurt, verspreidt het metaalpoeder zich door het bedrijf.

Naast de algemene werkvoorschriften zijn er speciale werkvoorschriften voor het metaalpoeder. Deze werkvoorschriften zijn gekoppeld aan de handelingen die met het metaalpoeder worden gedaan. Onderstaande werkvoorschriften moeten door Aeronamic worden uitgewerkt.

Poeder controle procedure – Het werkvoorschrift voor de controle van het poeder bestaat uit meerdere delen. Wanneer het poeder op kwaliteit wordt gecontroleerd, wordt de werknemer blootgesteld aan het metaalpoeder. De juiste beschermingsmiddelen moeten worden gedragen wanneer de medewerker wordt blootgesteld aan metaalpoeder. Daarnaast wordt in het werkvoorschrift vastgelegd hoe de werknemer het poeder controleert en aan welke eisen de controle moet voldoen. Dit onderdeel gaat over het waarborgen van de kwaliteit en niet over de veiligheid van de werknemer.

Poeder inkoop procedure – Het poeder dat wordt ingekocht, moet aan bepaalde voorwaarden voldoen. De inkoop procedure beschrijft dit proces.

Poeder aanlever procedure – Wanneer het poeder wordt aangeleverd, moeten de juiste mensen weten wat ze moeten doen. Onderzocht moet worden of er beschermingsmiddelen moeten worden gedragen voor het geval dat iets mis gaat. Hierbij valt te denken aan het vallen en kapot gaan van een pot poeder.

Poeder hergebruik procedure – Na het printen van een onderdeel blijft poeder over dat niet voor het product is gebruikt. Om het poeder her te gebruiken moet het aan bepaalde kwaliteit voldoen. Wanneer de medewerker deze handelingen start, wordt hij blootgesteld aan metaalpoeder. De juiste beschermingsmiddelen moeten worden gedragen. Daarnaast beschrijft deze procedure hoe de kwaliteit wordt gewaarborgd voor het metaalpoeder.

Poeder opslag procedure – Bij de opslag van metaalpoeder is de veiligheid van de werknemers een belangrijk onderdeel. Onder normale omstandigheden komt er geen poeder vrij en loopt de werknemer geen gevaar. Wanneer een pot met poeder omvalt, kan dit grote gevolgen hebben als de medewerker geen beschermingsmiddelen draagt. Daarnaast moet de kwaliteit van het proces worden gewaarborgd. Wanneer de opslagkast voor metaalpoeder in de ruimte van de 3D printer komt te staan, mag een werknemer niet zonder beschermingsmiddelen de ruimte betreden. De verschillende stappen van het opslaan worden in deze procedure vastgelegd.

4.4 Hoe verloopt de nazorg met betrekking tot het gebruik van het metaalpoeder

Aeronamic streeft ernaar om zo efficiënt mogelijk met het metaalpoeder om te gaan. Het kan echter voorkomen dat bepaald metaalpoeder niet meer geschikt is om mee te printen. Dit afgekeurde metaalpoeder wordt beschouwd als afval. Niet alleen het afgekeurde metaalpoeder wordt gezien als afval, maar al het poeder waar niet meer mee geprint kan worden. Het bedrijf moet van dit afval af. Er zijn verschillende manieren om van afval af te komen. In dit onderzoek komen twee opties naar voren, namelijk het lozen van het restpoeder in het vuilwaterriool en het op laten halen van het afval door een afvalverwerkingsbedrijf. Naast deze twee opties bestaat de mogelijkheid om het metaalpoeder te recyclen. In dit onderzoek komt deze optie niet uitgebreid naar voren. Dit kan in de nabije toekomst wel een optie zijn voor Aeronamic.

4.4.1 Metaalpoeder afval

Zoals eerder benoemd is er meer afval tijdens het AM proces naast het restpoeder. De verschillende soorten afval worden hieronder kort besproken.

Poeder – Het restpoeder kan niet meer gebruikt worden om te printen. Dit is in hoofdstuk 4.4 beschreven.

Filters – Het filter van de 3D printer houdt het metaalpoeder tegen. Wanneer het filter uit de printer wordt gehaald smeult het. Om het te koelen wordt het filter mogelijk in een bak met water gelegd. Het metaalpoeder mengt met water waardoor het niet meer als stof door de lucht kan bewegen. De filter wordt vervolgens schoon gemaakt en kan hergebruikt worden. Het water dat zich heeft vermengd met metaalpoeder, wordt beschouwd als afval.

Zand – Voor het stralen van een geprint product wordt zand gebruikt. Het zand dat met metaalpoeder is vermengd wordt beschouwd als afval.

Stofzuigerinhoud – De explosievrije stofzuiger heeft een geïntegreerd waterreservoir. Het metaalpoeder dat wordt opgezogen wordt vermengd met water. Dit water wordt beschouwd als afval.

4.4.2 Vuilwaterriool

Om water te mogen lozen in het riool, moet het aan bepaalde voorwaarden voldoen. Bepaalde stoffen mogen niet worden vermengd met water om vervolgens weggespoeld te worden. Een deel van de stoffen die niet zomaar weggespoeld mogen worden zijn de Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS). Deze stoffen schaden het milieu en zijn mogelijk kankerverwekkend. In Nederland zijn speciale regels betreffende het lozen van deze stoffen (Infomil, 2017).

Zoals eerder is gebleken, is Inconel 718 mogelijk kankerverwekkend. Een bestanddeel dat zorgt voor deze aanname is nikkel. In Nederland staan de nikkelverbindingen op de ZZS lijst. Dit houdt in dat er bepaalde beperkingen zitten aan het gebruik van nikkel (RVS.RIVM, 2017). De nikkelverbindingen die mogelijk bij het AM proces worden gemaakt zijn nikkelchromaat en nikkeldioxide. De nikkeldioxideverbinding kan tot stand komen door het reageren van Inconel 718 met water. De nikkelchromaatverbinding kan tot stand komen door het chroom dat aanwezig is in Inconel 718 (Aeronamic, 2018). Door deze chemische reactie zitten er stoffen in het water, waardoor het niet zomaar mag worden geloosd in het riool. Volgens het Activiteitenbesluit artikel 4.73 lid 1 is de

grenswaarde voor het lozen van nikkel in het riool 0,5 milligram per liter (Overheid, 2017). Door de hoge dichtheid van Inconel 718 is veel water nodig om het restpoeder te lozen. Echter, wordt het mengsel van water en Inconel 718 dan bewust verdund. Dit is in strijd met het beginsel van de Wet milieubeheer artikel 10.29a, wat gaat over het beperken van het gebruik van grondstoffen (Infomil, 2017). In het geval van het verdunnen is water de grondstof.

Het mogelijk lozen van Inconel 718 in het riool moet goed gecontroleerd worden. De grenswaarden mogen niet worden overschreden. Daarbij moet het beginsel van de Wet milieubeheer in acht worden genomen. Daarnaast heeft Aeronamic de ambitie om milieuvriendelijk te produceren. Het lozen van Inconel 718 in het riool past niet goed in deze visie. Een andere optie is om het restpoeder te laten ophalen door een afvalverwerker.

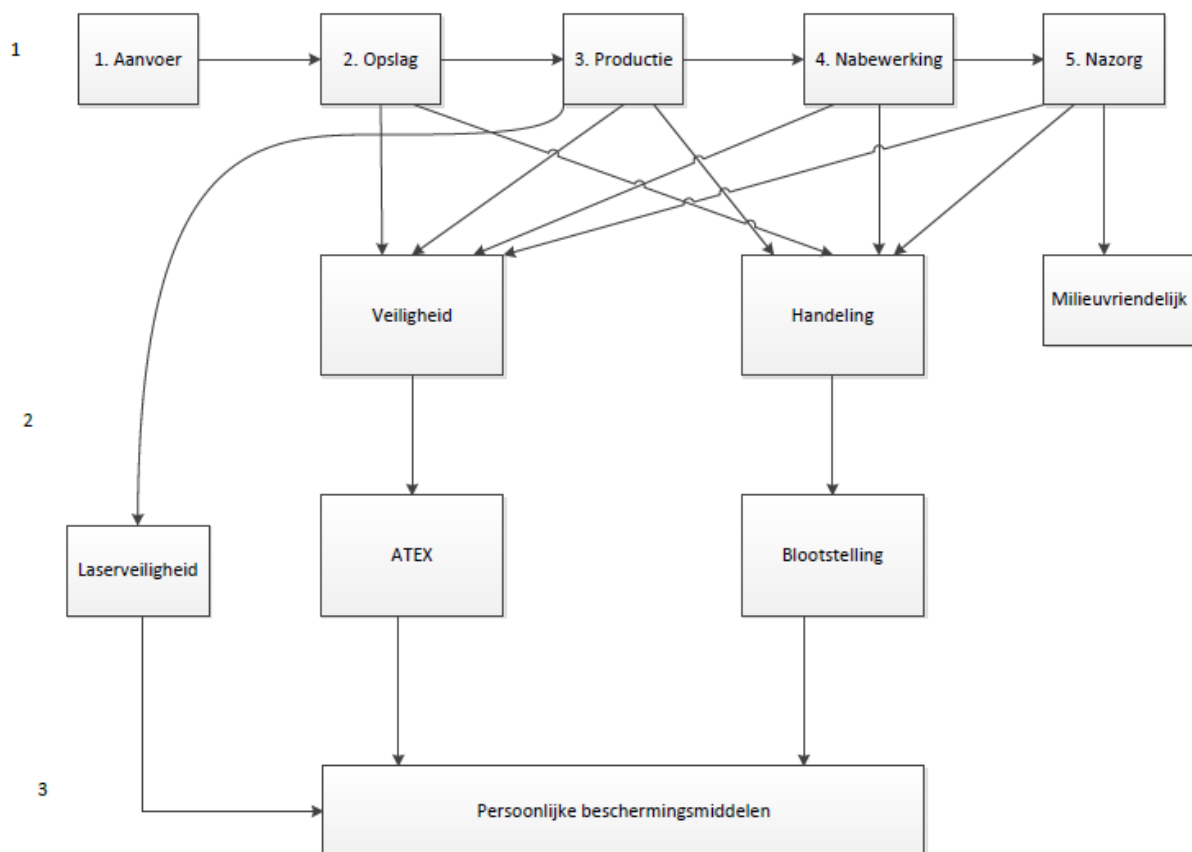
4.4.3 Afvalverwerker

Aeronamic werkt veel met speciale processen, waarbij chemicaliën worden gebruikt die afgevoerd moeten worden. Dit afvoeren gebeurt periodiek door een externe chemicaliën afvalverwerker. Hier heeft Aeronamic geruime tijd ervaring mee. Ditzelfde principe kan worden toegepast voor het afval van het AM proces. Er kunnen afspraken worden gemaakt over het ophalen van het metaalpoeder. Hier zijn wel kosten aan verbonden. Hoe meer afval er wordt opgehaald, hoe meer het bedrijf betaalt. De kosten hiervan zijn moeilijk in te schatten, omdat onbekend is hoeveel afval er wordt geproduceerd.

Het afvalverwerkingsbedrijf verwerkt het afval op een verantwoordelijke manier zodat het metaalpoeder afval het milieu minimaal belast. Onder milieu wordt grondwater en bodem verstaan. De afvalverwerker past beter bij het streven van Aeronamic om milieuvriendelijk te produceren dan het gecontroleerd lozen van metaalpoeder in het riool. Er wordt aanbevolen om het externe afvalverwerkingsbedrijf het afval van het AM proces op te laten halen.

5. Risicoscenario's

Zoals in hoofdstuk 2 naar voren is gekomen, worden risico scenario's gemaakt om op voorhand mogelijk gevaarlijke situaties te beheersen. Het is waarschijnlijk dat deze scenario's voorkomen tijdens het AM proces. De Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) over het productieproces die tijdens verschillende sessies is gemaakt, geeft de input voor de risicoscenario's. De stappen van de FMEA komen overeen met het AM proces. Tijdens de FMEA zijn verschillende risico's naar voren gekomen. Elk gezondheidsrisico dat werd geconstateerd wordt in dit hoofdstuk beschreven en hiervoor worden maatregelen voorgesteld. Deze maatregelen volgen de principes van het vlinderdas model (dit houdt in de preventieve- en beheersmaatregelen). Zoals onderstaand figuur laat zien, begint het AM proces bij de aanvoer.



Figuur 13: Combinatie Additive Manufacturing proces & onderzoeksopzet

5.1 Aanvoer

Eerder in deze scriptie zijn de handelingen bij de aanvoer van metaalpoeder beperkt beschreven. Tijdens de FMEA is dit verder uitgesplitst en zijn twee momenten waar gezondheidsrisico's op kunnen treden naar voren gekomen. Beide hebben te maken met de blootstelling aan metaalpoeder. De algemene grens om maatregelen te nemen is binnen Aeronamic vastgesteld op een score van 125 bij de FMEA. Voor het nieuwe AM proces wordt deze grens weer gebruikt. Daarnaast worden bij de scenario's waarbij een Safety Health and Environment (SH&E) risico kan ontstaan, ook maatregelen getroffen. Ook als de scoregrens van 125 punten niet is behaald. Deze maatregelen kunnen worden opgenomen in het SH&E beleid.

5.1.1 Ingeboekt poeder Inconel 718

Tijdens het inboeken van Inconel 718 kan het zijn dat de pot kapot is waar het metaalpoeder in zit. Hierdoor loopt de medewerker van Aeronamic een blootstellingsrisico. De kans dat dit voorkomt is niet groot. Echter, omdat het een SH&E risico vormt, worden er wel maatregelen genomen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende maatregelen die genomen kunnen worden.

Blootstelling ingeboekt poeder Inconel 718		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Dragen wegwerphandschoenen	
Reactieve maatregel	In nabijheid van de plek waar het poeder wordt ingeboekt een explosievrije stofzuiger plaatsen zodat het vrijgekomen poeder kan worden opgezogen	
Organisatorische maatregel	Maken van werkinstructies over hoe de werknemers op de juiste manier Inconel 718 in moeten boeken. Scenario dat een pot kapot kan zijn hierin meenemen. Wijs de medewerkers op de gevaren van metaalpoeder	Geef de medewerkers die in aanraking komen met metaalpoeder een training

Tabel 14: Blootstelling ingeboekt poeder Inconel 718

5.1.2 Ingangscontrolle poeder Inconel 718

Om zeker te zijn dat de leverancier de juiste samenstelling van het poeder heeft geleverd, wordt een ingangscontrolle gedaan. Hierbij wordt een monster van het poeder genomen, wat wordt onder andere geanalyseerd op grootte en vorm. Omdat de medewerker hierbij mogelijk wordt blootgesteld aan metaalpoeder, is er een SH&E risico. Doordat wordt gewerkt met het poeder dienen de medewerkers de voorgeschreven PBM's te dragen.

Blootstelling ingangscontrolle poeder Inconel 718		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Volledig beschermingspak dragen bij uitvoeren van de ingangscontrolle	Toezicht houden op het dragen van PBM's wanneer medewerkers in contact komen met metaalpoeder
Reactieve maatregel	In de nabijheid van de plek waar de ingangscontrolle wordt gedaan zijn oogspoelen aanwezig. Daarnaast is de plek dicht bij de buitendeur zodat medewerkers snel naar buiten kunnen wanneer ze worden blootgesteld aan metaalpoeder. Wanneer een medewerker niet de juiste beschermingsmiddelen draagt en wordt blootgesteld zijn er	Naleven van de gedragscode

	voldoende hulpmiddelen voor handen	
Organisatorische maatregel	Maken van werkinstructies over hoe de werknemers op de juiste manier de ingangscntrole uit moeten voeren. Daarnaast de medewerkers bewust maken van de gevaren van metaalpoeder zodat de PBM's gedragen worden	Geef de medewerkers die in aanraking komen met metaalpoeder een training.

Tabel 15: Blootstelling ingangscntrole poeder Inconel 718

5.2 Opslag

Bij de opslag van het metaalpoeder is het mogelijk dat de pot met metaalpoeder op een verkeerde locatie wordt opgeslagen. Dit heeft mogelijk een SH&E risico tot gevolg. De kast waar het metaalpoeder in op wordt geslagen is namelijk een brandwerende kast. Wanneer het poeder in een normale kast wordt gezet, en bij Aeronamic breekt brand uit, dan wordt het poeder niet beschermd. Dit kan als gevolg hebben dat er een explosie ontstaat, mits het poeder explosief is.

5.2.1 Opslag verkeerde locatie Inconel 718

Het op de verkeerde locatie plaatsen van een pot poeder, heeft een SH&E risico als gevolg. Onderstaande tabel geeft de maatregelen die moeten worden genomen.

Opslag verkeerde locatie Inconel 718		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Correcte inkomend goed inspectie. Hier moet een werkinstructie voor worden gemaakt	
Reactieve maatregel	Wekelijks de voorraad nalopen en vergelijken met de voorraad die in het systeem staat. Wanneer er een pot mist wordt dit gedetecteerd in plaats van dat het niet wordt gemerkt.	
Organisatorische maatregel	Opstellen en actief bijhouden van de voorraadlijst	Wijs de medewerkers die de potten met poeder op de juiste locatie moeten plaatsen een training over de gevaren van het verkeerd wegzetten van metaalpoeder

Tabel 16: Opslag verkeerde locatie Inconel 718

5.2.2 Uitgifte goederen voor productie

Tijdens deze stap wordt onder andere het poeder naar de machine verplaatst, zodat er geprint kan worden. Tijdens deze handeling kan de pot met poeder kapot gaan, bijvoorbeeld door het laten vallen van de pot, waardoor de medewerker wordt blootgesteld aan het poeder.

Human factor blootstelling aan poeder		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Draag wegwerp handschoenen wanneer er de mogelijkheid is dat de medewerker wordt blootgesteld aan metaalpoeder	
Reactieve maatregel	Medewerker die is blootgesteld aan poeder naar een schone omgeving brengen. Dit kan de buitenlucht zijn en/of de oogspoel gebruiken als de medewerker het poeder in het gezicht heeft gekregen. Vervolgens zo snel mogelijk het poeder opzuigen via de speciale stofzuiger	
Organisatorische maatregel	SH&E beleid en werkinstructies maken voor de medewerkers zodat zij weten hoe ze met het poeder om moeten gaan	Aanvullende training en periodieke kwalificatie van personeel zodat men alert blijft op mogelijke fouten

Tabel 17: Human factor blootstelling aan poeder

5.3 Productie

Voordat de productie kan beginnen, moet de machine goed voorbereid worden. Het poeder moet op de juiste manier in de machine en de parameters moeten worden afgesteld. Daarna kan de daadwerkelijke print beginnen.

Fout tijdens vullen van de printer waarna blootstelling aan poeder		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Draag tijdens het vullen van de printer de volledige veiligheidsbeschermingsuitrusting. Wanneer het vullen door mens of machine fout gaat, wordt de werknemer niet blootgesteld aan poeder. Het pak beschermt de werknemer	
Reactieve maatregel	Stoppen met het vullen van de printer en zo snel mogelijk het poeder dat buiten de printer terecht is gekomen opzuigen	In de nabijheid van de printer een metaalbrandblusser plaatsen
Organisatorische maatregel	Stickers op de machine plakken zodat de medewerker kan zien dat er niet gewerkt mag worden zonder volledige bescherming. Daarnaast de medewerkers trainen en werkinstructies maken	Aanvullende training en periodieke kwalificatie van personeel zodat men alert blijft op mogelijke fouten

Tabel 18: Vullen van printer gaat fout

Schoonmaken van de 3D printer		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Draag tijdens het schoonmaken van de printer de volledige veiligheidsbeschermingsuitrusting. Wanneer het schoonmaken fout gaat, wordt de werknemer niet blootgesteld aan poeder. Het pak beschermt de werknemer	
Reactieve maatregel	Het vrijgekomen poeder zo snel en veel mogelijk opzuigen met de stofzuiger	In de nabijheid van de printer een metaalbrandblusser plaatsen
Organisatorische maatregel	Stickers op de machine plakken zodat de medewerker kan zien dat er niet gewerkt mag worden zonder volledige bescherming. Daarnaast de medewerkers trainen en werkinstructies maken	Aanvullende training en periodieke kwalificatie van personeel zodat men alert blijft op mogelijke fouten

Tabel 19: Schoonmaken van de 3D printer

5.4 Nabewerking

Het bewerken van het geprinte product is een essentieel onderdeel van het AM proces. Tijdens het bewerken loopt de medewerker verschillende risico's. Zonder het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen is het mogelijk dat de medewerker wordt blootgesteld aan metaalpoeder. Daarnaast is het voor de fysieke belasting van de werknemer van belang dat de beschikbare hulpmiddelen worden gebruikt. Inconel 718 is een zwaar poeder, wat een relatief zwaar product tot gevolg heeft. Door onjuist of onnodig tillen van geprinte producten kunnen er fysieke klachten ontstaan.

Nog niet alle nabewerkingshandelingen zijn vastgelegd bij Aeronamic. In de nabije toekomst kunnen handelingen worden verricht die niet in de huidige FMEA staan beschreven.

Blootstelling aan poeder dat achter blijft op de bouwplaat		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Draag tijdens contact met de bouwplaat minimaal beschermende handschoenen. Mocht er nog resten metaalpoeder op de bouwplaat zijn achtergebleven dan voorkomen de handschoenen blootstelling aan het poeder	
Reactieve maatregel	Wanneer de medewerker waarneemt dat er nog metaalpoeder op de bouwplaat is achtergebleven dan dient de bouwplaat schoon te worden gemaakt. Dit kan door het gebruiken van de stofzuiger om het poeder van de bouwplaat te verwijderen of door de bouwplaat in een bak water te leggen	In de nabijheid van de printer een stofzuiger en een bak water plaatsen

Organisatorische maatregel	De medewerkers trainen en werkinstructies maken voor het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen	Aanvullende training en periodieke kwalificatie van personeel zodat men alert blijft op mogelijke fouten
----------------------------	--	--

Tabel 20: Blootstelling aan poeder op de bouwplaat

Fysieke klachten na tillen van geprint product		
Maatregelen	Noodzakelijk	Aanbeveling
Preventieve maatregel	Gebruik de beschikbare hulpmiddelen om te voorkomen dat er fysieke klachten komen voor het tillen van te zware producten	Het gebruik van de beschikbare hulpmiddelen verplicht stellen binnen de AM fabriek
Reactieve maatregel	Wanneer de medewerker merkt dat het product dat wordt getild te zwaar is, moet de medewerker het product op een verantwoorde manier zo snel mogelijk neerzetten	In nabijheid van de printer de beweegbare, verstelbare lift plaatsen
Organisatorische maatregel	Tijdens de training van het personeel dat in de AM fabriek gaat werken een deel van de training wijden aan het tillen van zware producten. Binnen Aeronamic wordt hier al aandacht aan besteed	Periodieke trainingen voor het personeel zodat men alert blijft op fouten

Tabel 21: Fysieke klachten na tillen van geprint product

5.5 Nazorg

Uit de huidige FMEA is niet naar voren gekomen dat er gevaarlijke situaties optreden bij de nazorg van het metaalpoeder. Doordat het restpoeder wordt vermengd met water, de procedure om dit vast te leggen moet nog worden geschreven, vormt het geen blootstellingsgevaar meer voor de medewerker.

5.6 ATEX

Tijdens het AM proces bestaat de mogelijkheid dat een stofwolk wordt gevormd. Deze stofwolk kan mogelijk tot een explosie leiden: er is dan een explosiegevaar. Uit de explosietest van januari 2018 is gebleken dat Inconel 718 niet explosief is. De ATEX indeling is geschreven met de kennis dat het poeder explosief is. Het stappenplan uit hoofdstuk 5.6 kan worden gebruikt wanneer er in de toekomst wordt gewerkt met explosief poeder. De Nederlandse wetgeving schrijft voor dat in een explosiegevoelige omgeving maatregelen moeten worden genomen om de kans op een explosie zo klein mogelijk te houden. Daarnaast moet Aeronamic haar medewerkers informeren over de risico's die er in de ruimte zijn. Het bedrijf moet haar medewerkers zo goed mogelijk beschermen tegen de explosierisico's (Arboportaal, 2017). Een onderdeel van de ATEX regelgeving is de zonering die toegepast moet worden. De explosiegevoelige ruimte moet worden ingedeeld in zones. Er zijn zes verschillende ATEX zones. Echter, voor Aeronamic zijn slechts drie zones van belang. Dit heeft met de aard van de mogelijke explosie te maken. De zones nul, één, en twee, zijn zones waar gas explosies voor kunnen komen. Omdat Aeronamic met metaalpoeder werkt, is het gevaar voor het bedrijf een stofexplosie, en geen gas explosie. De zones 20, 21 en 22 zijn mogelijk op Aeronamic van toepassing. In deze zones wordt de kans op een stofexplosie gerangschikt. Bij deze verdeling is de kans op een explosie in zone 20, het grootst en in zone 22 het kleinst. Na zone 22 bestaat het Niet Gevaarlijke Gebied (NGG). Een explosie in dit gebied is uitgesloten (Arbeidsveiligheidsnet, 2017). In een ruimte kunnen zich meerdere zones bevinden, dit hangt af van de processen die er plaatsvinden en de voorzorgsmaatregelen die worden genomen. De zones worden ingedeeld onder normaal bedrijf: de omstandigheden tijdens een productiedag. Mogelijk gevaarlijke situaties die kunnen ontstaan door foute handelingen, bijvoorbeeld het kapot laten vallen van een pot metaalpoeder, worden niet onder normaal bedrijf verstaan (Euronorm, 2017).

Aeronamic wil voor het AM proces drie verschillende ruimtes indelen. Door het aanhouden van verschillende ruimtes wordt de zonering overzichtelijker. De afbeelding aan de rechterzijde geeft de ideale indeling weer van de verschillende ruimtes. Ondanks dat dit voorlopig niet de werkelijke locatie wordt, blijven de randvoorwaarden waarop deze indeling is gebaseerd van kracht. De ruimte indeling wordt gescheiden door de rode lijnen. De eerste ruimte is de werkvoorbereidingsruimte (in de afbeelding gedefinieerd als 'Office Area'). De tweede ruimte is de werkruimte, de ruimte waar de 3D printer staat. De derde



Figuur 14: plattegrond ideale proeffabriek

ruimte is de nabewerkingsruimte. Hier worden supports en dergelijke verwijderd. Op het gebied van poederbeleid zijn de ruimtes ingedeeld in schone ruimte, half schone ruimte en vuile ruimte.

Schone ruimte – In de schone ruimte wordt de werkvoorbereiding gedaan. Dit is een afgesloten ruimte waar geen beschermende kleding wordt gedragen. In de schone ruimte is geen tot zeer weinig metaalpoeder aanwezig.

Half schone ruimte – In de half schone ruimte is mogelijk metaalpoeder aanwezig. In deze ruimte dienen beschermende middelen te worden gedragen.

Vuile ruimte – In de vuile ruimte vindt de nabewerking plaats. Tijdens het bewerken is het mogelijk dat poeder vrijkomt. Daarom moet in deze ruimte beschermende middelen worden gedragen.

5.6.1 Zonering

Voordat de verschillende ruimtes kunnen worden ingedeeld in ATEX zones, moet beschreven worden waar de zonering afhankelijk van is. Onderstaand citaat geeft hier antwoord op.

‘De indeling binnen zo’n gevaarlijk gebied in zoneklassen is afhankelijk van de waarschijnlijk van het aanwezig zijn van een explosieve atmosfeer binnen die gevarezone.’

De waarschijnlijkheid dat een explosieve atmosfeer (in de praktijk een explosieve stofwolk) aanwezig is bepaalt de zonering. De NPR 7910-2 bevat verschillende schema’s om onder andere de zonering bij stofwolken te bepalen (zie bijlage 6). Voordat een stofwolk explosief wordt, moet deze wolk de LEL overschrijden. Zolang dit niet gebeurt, is de wolk niet explosief. Het ideale scenario voor Aeronamic is dat deze LEL grens nooit wordt overschreden. Echter kan Aeronamic hier niet zeker van zijn. Het bedrijf gaat namelijk met Inconel 718 printen en van dit poeder zijn de LEL en UEL niet bekend. Hierdoor kan niet met zekerheid worden gezegd of de LEL wordt overschreven wanneer een medewerker een geprint product aan het bewerken is. Een stofwolk die de LEL overschrijdt hoeft immers niet altijd te exploderen, maar er is een kans dat een explosie plaatsvindt. Omdat er geen zekerheid is over de explosie grenzen worden de verschillende ruimtes wel geclassificeerd. Daarnaast worden verschillende middelen ingezet om de kans op een explosie zo klein mogelijk te maken. Een eigenschap van het metaalpoeder Inconel 718 dat hier aan mee helpt is de reactiviteit. Inconel 718 is geen reactief metaal. Dit houdt in dat het niet snel reageert met bijvoorbeeld O₂, zuurstof. Door deze eigenschap is er veel Inconel 718 nodig voordat het reageert met zuurstof. Dit betekent dat een stofwolk een dermate grote omvang moet hebben voordat een explosie plaats kan vinden. Verder onderzoek naar de explosiegrenzen van Inconel 718 moet uitwijzen of dergelijke concentraties voorkomen tijdens normaal bedrijf bij Aeronamic.

De onzekerheid over de explosieve waardes van Inconel 718 is een reden om de proeffabriek extra veilig in te richten. De zonering bij de verschillende ruimtes is hier een onderdeel van. Er zijn meerdere factoren van invloed op de zonering. Door een goede afzuiging te hebben en daarnaast aan ‘Good Housekeeping’ te voldoen, wordt de zonering classificatie lager. Wanneer deze middelen worden toegepast is de kans dat genoeg stof vrijkomt om een explosieve wolk te vormen, minder groot.

5.6.2 NPR 7910-2

De Nederlandse wetgeving op het gebied van explosieveiligheid wordt beschreven in de NPR 7910. Hier zijn twee versies van, namelijk de versie over een gasexplosie, en de versie over een

stofexplosie. De wetgeving voor de gasexplosie wordt beschreven in de NPR 7910-1, en de stofexplosie wordt beschreven in de NPR7910-2. Om voor Aeronamic te beoordelen waar het bedrijf aan moet voldoen, wordt deze richtlijn gevolgd. Na het bezoek van ATEX expert Andries Brakke is het voor Aeronamic inzichtelijker geworden wat er van het bedrijf wordt gevraagd op het gebied van ATEX. De verschillende stappen die doorgelopen moeten worden voor het AM proces, worden hieronder beschreven. Het EOS MSDS van Inconel 718 geeft aan dat het poeder niet explosief is, maar dat er wel een explosieve stofwolk kan worden gevormd. Omdat dit tegenstrijdig is, is het aan te bevelen om het poeder door een derde instantie te laten testen op explosiviteit. Het stappenplan voor als het poeder wel explosief blijkt te zijn, wordt alvast beschreven.

Vullen van 3D printer	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Nee-Nee-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	Nee-Nee-Ja NGG	Door gebruik te maken van een explosievrije stofzuiger tijdens het vullen van de printer is er voldoende plaatselijke afzuiging. Dit moet omschreven worden in de 'Housekeeping rules'.
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 22: Vullen 3D printer

Printen van part in 3D printer	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Ja-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	Ja-Nee Zone 20	Printer werkt met argon. Dit is een inert gas dus een explosie binnen in de printer is uitgesloten. De printer heeft een zuurstofmeter. Wanneer deze waarden boven de $\pm 2\%$ zuurstof komt, wordt de printer automatisch uitgeschakeld. Deze zuurstofmeter moet regelmatig worden getest.
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 23: Printen part

Schoonmaken van 3D printer	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Nee-Nee-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	Nee-Nee-Ja NGG	Door gebruik te maken van een explosievrije stofzuiger tijdens het schoonmaken van de printer is er voldoende plaatselijke afzuiging. Dit moet omschreven worden in de 'Housekeeping rules'.
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 24: Schoonmaken 3D printer

Vullen van zeefmachine	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Nee-Nee-Nee-Nee	Zone indeling niet noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	N/A	
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 25: Vullen van zeefmachine

Zeven van poeder in zeefmachine	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Ja-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	Nee-Nee-Nee Zone 22	Machine wordt ATEX veilig geleverd door EOS. Dit moet worden geverifieerd door Aeronamic
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 26: Zeven van metaalpoeder

Verwijderen supports (nabewerking)	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Nee-Nee-Nee-Nee	Zone indeling niet noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	N/A	
	Zone bepaling stoflaag	Nee NGG	Doormiddel van 'good housekeeping' wordt het volume van de stoflaag beperkt. Hierdoor wordt de explosieve grens niet bereikt
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 27: Verwijderen supports (nabewerking)

Heat treatment van geprint product	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Ja-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	Nee-Ja-Ja-Ja NGG	De hitte behandeling in de oven wordt vacuüm gedaan. Hierdoor kan er geen explosie optreden
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 28: Heat treatment

Stralen van geprint product	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Ja-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	Nee-Ja-Nee Zone 21	De straalcabine wordt ATEX veilig geleverd door de fabrikant.
	Zone bepaling stoflaag	N/A	
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 29: Stralen van geprint product

Brandveiligheidsopslagkast	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling	Ja-Ja-Ja	Zone indeling noodzakelijk
	Zone bepaling stofwolk	N/A	
	Zone bepaling stoflaag	Nee NGG	Door afzuiging aan de bovenkant van de kast kan het poeder, dat lekt bij een defecte opslag pot, worden afgezogen
	Zone afmeting	N/A	

Tabel 30 Brandveiligheidsopslagkast

Onderstaande afbeelding geeft de ideale opstelling voor Aeronamic weer. De rode gevarenpunten geven het zoneringsgebied weer. Uit de bovenstaande tabellen is gebleken dat de zonering alleen van toepassing is op de binnenkamer van de machines. Hier wordt er met poeder gewerkt of kan het vrijkomen. Doordat de machines ATEX veilig worden geleverd, is de zonering alleen binnen de machine van toepassing. De gebruikelijke straal van minimaal 3 meter rond de zonering hoeft nu niet te worden toegepast. Bij verschillende machines, zoals de printer en de oven, wordt gewerkt onder onderdrukende omstandigheden. Hieronder wordt verstaan, dat het optreden van een explosie is uitgesloten. De printer gebruikt tijdens het printproces argon, dit verdringt zuurstof waardoor een explosie niet mogelijk is. De oven die Aeronamic aan gaat schaffen wordt een vacuüm oven waardoor er geen explosie mogelijk is. Door deze maatregelen en proceseigenschappen is er een gevaarbron, maar de kans op een explosie is nagenoeg uitgesloten. De half schone ruimte en de vuile ruimte kunnen hierdoor als niet gevaarlijke gebied (NGG) worden aangeduid. In onderstaande afbeelding zijn beide ruimten grijs gearceerd.



Figuur 15: ATEX indeling proeffabriek

5.6.3 Betekenis zonering

De mogelijke ATEX zonering betekent dat Aeronamic zich moet houden aan bepaalde voorwaarden. Een voorbeeld hierbij is het vullen van de 3D printer. Hier is zone 22 van toepassing, mits er afzuiging aanwezig is. Dit betekent dat wanneer de medewerker de explosievrije stofzuiger niet aansluit, er geen afzuiging is. Hierdoor moet zone 22 gehanteerd worden in plaats van een niet gevaarlijk gebied. Dit heeft gevolgen voor de indeling van de ruimte. Het is dus voor Aeronamic wenselijk om de zonering zo laag mogelijk te houden. Door de medewerkers zo goed mogelijk te informeren en te trainen kan deze zonering laag blijven. Daarnaast moeten de medewerkers de juiste apparatuur tot hun beschikking hebben om de zonering laag te houden. Wanneer de afzuiging niet functioneert, maar de productie wel door moet draaien, wordt er niet veilig gewerkt. Dit past niet bij de visie van Aeronamic. Door tijdig inspecties te houden, kunnen dit soort scenario's worden voorkomen.

Doordat de zonering vooral voorkomt binnen machines kan de machineruimte zelf als NGG worden bestempeld. Om dit te kunnen handhaven is 'Good housekeeping' noodzakelijk. Dit houdt in dat er regelmatig schoon moet worden gemaakt en dat hier roosters voor worden opgesteld. De precieze invulling voor regelmatig wordt binnen Aeronamic beschreven. Daarnaast is het aan te bevelen om de personen die binnen de verschillende AM ruimtes gaan werken, te informeren en te trainen op ATEX gebied. Hierdoor weten de medewerkers hoe ze moeten handelen en wat er kan gebeuren, mocht er iets mis gaan. Doordat de ruimtes zijn gedefinieerd als NGG, hoeft Aeronamic geen speciale apparatuur aan te schaffen die aan categorie 1, 2 of 3 voldoen. De apparaten die wel een ATEX zonering hebben, zullen een sticker krijgen waarop dit wordt aangegeven (Arbeidsveiligheidsnet, 2017).

Zone	Categorie apparatuur
20	Categorie 1 apparatuur
21	Categorie 1 of categorie 2 apparatuur
22	Categorie 1, categorie 2 of categorie 3 apparatuur

Tabel 31 ATEX categorie apparatuur

Tot slot betekent de mogelijke ATEX zonering voor Aeronamic dat een explosieveiligheidsdocument moet worden opgesteld. In dit document worden alle mogelijke explosierisico's vastgelegd en worden maatregelen beschreven om deze risico's zo klein mogelijk te houden.

6. Huidige situatie

De huidige situatie verschilt van de ideale opstelling die door het AM team van Aeronamic is bedacht. De proeffabriek wordt bij Aeronamic, locatie Almelo, geïnstalleerd. In deze ideale opstelling grenzen drie verschillende ruimtes aan elkaar. Dit heeft als voordeel dat een geprint product niet door andere delen van de fabriek verplaatst wordt. Door het restpoeder, dat na het printen nog aanwezig kan zijn op het product, is er de mogelijkheid dat het poeder in dat scenario door de fabriek wordt verspreid. Door de beperkte ruimte die Aeronamic tot haar beschikking heeft, kunnen de drie ruimtes niet aan elkaar grenzen. Daarnaast is in dit onderzoek naar voren gekomen dat een buitenstaande poederbunker niet nodig is voor Aeronamic. Door de beperkte voorraad van Inconel 718 voldoet een brandwerende opslagkast. Deze brandwerende opslagkast staat in dezelfde ruimte als de printer. In de ideale proeffabriek is ook ruimte gemaakt voor de oven die nodig is voor de warmtebehandeling van het geprinte product. Deze oven zal niet in de proeffabriek bij Aeronamic Almelo komen te staan. Wanneer het project in een later stadium is aangekomen, wordt de oven aangeschaft. Tot slot staat de argonmodule in de ideale situatie buiten de proeffabriek. In de huidige situatie wordt een werkvoorraad argon naast de printer opgeslagen.



Figuur 16: Plattegrond ideale proeffabriek

6.1 Indeling ruimtes

Zoals al kort is beschreven, grenzen de verschillende ruimtes niet aan elkaar in de huidige proeffabriek. Wanneer een product is geprint, moet het worden bewerkt. In de huidige indeling moet het product door de fabriekshal vanuit de printruimte naar de nabewerkingsruimte. Het geprinte product is pas poedervrij nadat het is nabewerkt. Dit houdt in dat er mogelijk poeder in de fabriekshal van Aeronamic komt wanneer het geprinte product wordt verplaatst tussen beide ruimtes. Een maatregel om de verspreiding van metaalpoeder door de fabriekshal van Aeronamic tegen te gaan, is het aanschaffen en gebruiken van goed afsluitbare kisten. Het geprinte product kan in een dergelijke kist worden gezet en vervolgens worden verplaatst tussen de printruimte en de nabewerkingsruimte. Door dit vast te leggen in werkinstructies kan worden voorkomen dat het metaalpoeder terecht komt in de fabriekshal van Aeronamic.

6.2 Opslag Inconel 718

In de huidige situatie wordt het metaalpoeder opgeslagen in een brandwerende opslagkast die in de printerruimte staat. Dit verschilt met de ideale opstelling, waar de poederbunker buiten de proeffabriek staat. Dit neemt bepaalde risico's weg maar creëert ook nieuwe mogelijke risicosituaties. Het verschil tussen beide wordt kort beschreven.

6.2.1 Poederbunker

De poederbunker in de ideale opstelling van de proeffabriek is een explosie veilige poederbunker. Deze bunker zou veilig worden aangesloten. Het voordeel van een dergelijke bunker is dat het poeder gegarandeerd veilig is opgeslagen. Wanneer zich een explosie voordoet, bijvoorbeeld tijdens het vullen, is de bunker hier tegen bestendig. Echter, wordt het poeder vanuit de bunker met buizen naar de machine verplaatst. Dit geeft andere risico's die Aeronamic moet afdekken. De buizen moeten geregeld gecontroleerd worden. Wanneer er namelijk een lek in een buis ontstaat, kan het metaalpoeder zich verspreiden. Dit heeft blootstelling aan metaalpoeder en mogelijk milieuproblemen als gevolg. Daarnaast is een poederbunker financieel niet aantrekkelijk. Dit heeft er toe geleid dat in dit onderzoek een brandwerende opslagkast is aangeraden. Deze kast is reeds geleverd. Uit een rapport, dat is opgesteld door een extern bedrijf na verschillende tests, van 19 januari 2018 is gebleken dat Inconel 718 niet explosief is.

6.2.2 Opslagkast

De kast waarin het poeder wordt opgeslagen is 90 minuten brandwerend. Dit geeft genoeg tijd om een kleine brand te blussen. Door de aanwezigheid van metaalbrandblussers kan een eventuele metaalbrand snel worden geblust. Doordat Inconel 718 niet explosief is en het poeder veilig wordt opgeslagen, wordt de kans op een brand dankzij de aanwezigheid van het poeder in de printerruimte niet vergoot. Wel brengt het andere risico's met zich mee. Doordat wordt gewerkt met potten poeder en een opslagkast, is een menselijke handeling nodig om het poeder in de printer te krijgen. Menselijke handelingen met het poeder brengen risico's met zich mee. In hoofdstuk 5.2.2 is dit beschreven voor het poeder in de opslagkast.

6.2.3 Argon

Dit onderzoek gaat over de risico's van metaalpoeder tijdens het AM proces. Toch wordt het argon gas, dat wordt gebruikt tijdens het printen, kort beschreven. Argon is een geurloos gas dat zuurstof verdringt en zwaarder is dan zuurstof. Doordat het zwaarder is, zakt het wanneer het vrij komt. Het risico hiervan is dat te veel argon in een te kleine afgesloten ruimte wordt opgeslagen. Dit kan tot gevolg hebben dat de ruimte langzaam volloopt met argon en de zuurstof wordt verdrongen. Wanneer een medewerker de ruimte betreedt als deze is gevuld met argon, zal de medewerker vrijwel direct overlijden. Het gas verdringt namelijk de zuurstof in de longen. Doordat in de huidige situatie de werkvoorraad argon gas wordt opgeslagen in de afgesloten printerruimte, moet Aeronamic enkele maatregelen nemen.

Detectiesysteem – Door een detectiesysteem op de grond van de printerruimte te plaatsen, wordt het gedetecteerd wanneer er een bepaalde hoeveelheid argon op de vloer terecht komt. Dit kan worden ingesteld door bijvoorbeeld het zuurstofniveau te meten. Wanneer het zuurstofniveau aan de grond sterk daalt, weet de medewerker dat argon vrijkomt. Wanneer dit gebeurt gaat een alarm af. Dit alarm kan bevestigd worden aan een lamp aan de buitenkant van de ruimte. Wanneer deze lamp aangaat, dan weet de medewerker dat de ruimte niet zomaar mag worden betreden.

Roosters – Een maatregel die ook genomen kan worden, is het plaatsen van roosters op ongeveer 10 centimeter boven de grond. Net als Inconel 718, zakt argon in de lucht. Door roosters te plaatsen op 10 centimeter boven de grond kan het argon uit de beperkte ruimte ontsnappen wanneer de ruimte vol dreigt te lopen. Door de roosters niet direct aan de grond te plaatsen ontsnapt het metaalpoeder niet door de roosters. Het metaalpoeder is namelijk zwaar en valt daardoor snel op de grond.

7. Conclusie

In het kader van dit onderzoek, dat is uitgevoerd bij Aeronamic locatie Almelo, is gekeken naar de impact van Inconel 718 op de in te richten proeffabriek voor 3D metaal printen. De volgende onderwerpen zijn in dit onderzoek beschreven: de risicovolle eigenschappen van Inconel 718, de veiligheidseisen voor het opslaan van Inconel 718, de wenselijkheid van werkvoorschriften en persoonlijke beschermingsmiddelen, de nazorg van Inconel 718, de mogelijke risicoscenario's, ATEX en de vergelijking tussen de huidige proeffabriek en de ideale proeffabriek. De verschillende onderwerpen hebben een elk een conclusie en complementeren samen de veilige inrichting van de proeffabriek en het AM proces.

7.1 Risicovolle eigenschappen Inconel 718

Dit onderzoek was gericht op twee mogelijk risicovolle eigenschappen van Inconel 718, namelijk de gezondheidsrisico's en de explosiegevoeligheid van Inconel 718. In het begin van het AM project bestond het vermoeden dat het poeder een risico vormt voor de gezondheid en dat het explosief is. Tijdens het onderzoek is naar voren gekomen dat het poeder mogelijk grote gevolgen heeft voor de gezondheid van de medewerkers, wanneer ze er aan blootgesteld worden. De lange termijn effecten van Inconel 718 op de gezondheid van de mens is nog niet bekend. Wel is bekend dat het poeder mogelijk kankerverwekkend is. Dit betekent dat het metaalpoeder een gevaarlijke stof is (CMR stof). Daarnaast kan het poeder, wanneer ingeademd, blijvende schade aan de longen toebrengen. Wanneer het poeder in contact komt met de huid, kan dit jeukende gevolgen hebben. Wanneer de medewerker langdurig wordt blootgesteld kan dit chronische huidproblemen veroorzaken. De werknemers van Aeronamic moeten beschermd worden tegen dit risico.

Naast het gezondheidsrisico, is in dit onderzoek ook gekeken naar het explosiegevaar van Inconel 718. Wanneer wordt gewerkt met metaalpoeder, is de kans op een explosie reëel. Door het ontbreken van explosiegegevens van Inconel 718 is de aanname gemaakt dat het poeder explosief is. Deze aanname kan door het testen van het poeder getest worden. Door in het onderzoek te stellen dat het poeder explosief is, worden de gevolgen hiervan onderzocht. Door deze werkwijze te hanteren, is het bedrijf voorbereid wanneer het poeder explosief blijkt te zijn. Uit het recente rapport over de explosietest van Inconel 718 van 19 januari 2018 blijkt dat het poeder niet explosief is.

7.2 Veiligheidseisen voor het opslaan van Inconel 718

In Nederland worden eisen gesteld aan de opslag van gevaarlijke en kankerverwekkende stoffen (CMR stoffen). De eisen aan het opslaan van verpakte gevaarlijke stoffen staan vermeld in de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS15). In 2016 zijn de nieuwste eisen gepubliceerd. PGS15:2016 is leidend voor het veilig opslaan van metaalpoeder voor Aeronamic. Om te weten welke eisen precies worden gesteld aan de opslag van metaalpoeder, moet bekend zijn in welke ADR klasse het metaalpoeder valt. Met de kennis uit het betreffende stadium van het onderzoek werd het metaalpoeder ingedeeld in de ADR 4.1D klasse. De stoffen die in deze klasse zijn ingedeeld, zijn explosie gevoelig. Door deze klasse bleek uit de PGS 15 dat het poeder moet worden opgeslagen in een brandveilige opslagvoorziening met ventilatie. De weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag van deze voorziening moest minimaal 60 minuten zijn. De brandwerende opslagkast die Aeronamic heeft besteld, en reeds is geleverd, voldoet aan de NEN-EN-14470-1. Deze norm is een voorwaarde om stoffen met klasse ADR 4.1D op te slaan in brandwerende opslagkasten. Uit het

recente rapport over de explosietest van Inconel 718 is gebleken dat het poeder niet explosief is. Doordat het poeder niet explosief is, valt het niet onder de klasse ADR 4.1D. Niettemin wordt het poeder opgeslagen in de brandveilige opslagkast. Daarnaast heeft Aeronamic de ambitie om met andere poeders te printen, bijvoorbeeld titanium. Wanneer een ander poeder onder de klasse ADR 4.1D valt, kan dit poeder worden opgeslagen in de aangeschafte brandwerende opslagkast.

7.3 Werkvoorschriften en beschermingsmiddelen

Tijdens het onderzoek is gebleken dat verschillende beschermingsmiddelen moeten worden gedragen wanneer wordt gewerkt met het poeder. Deze beschermingsmiddelen moeten gedragen worden, omdat blootstelling aan het poeder kan leiden tot ernstige gezondheidsproblemen. Vanwege het risico op ernstige gezondheidsproblemen moeten de beschermingsmiddelen voldoen aan bepaalde normen. Zo moet bijvoorbeeld het volgelaatsmasker voorzien zijn van stoffilters met kwaliteit P3. De geadviseerde beschermingsmiddelen zijn door Aeronamic besteld en reeds geleverd.

In werkvoorschriften moet vastgelegd worden hoe de medewerkers om moeten gaan met het metaalpoeder. Er moet worden beschreven welke beschermingsmiddelen worden gedragen in de verschillende stappen van het AM proces. Hierin moet de afweging worden gemaakt tussen veiligheid en werkbaarheid. De inhoud voor deze werkinstructies is in dit onderzoek geleverd. Het basisprincipe dat is gebruikt, is dat de medewerker volledig beschermd is wanneer er actief wordt gewerkt met metaalpoeder. Een voorbeeld hierbij is het schoonmaken van de bouwkamer.

7.4 Nazorg Inconel 718

Aeronamic heeft als streven om zo efficiënt mogelijk te printen. Dit houdt in dat zo weinig mogelijk metaalpoeder als afval wordt gezien. Wanneer het poeder is afgekeurd voor productie, wordt het beschouwd als afval. In dit onderzoek is op twee manieren gekeken naar de vormgeving van de nazorg betreffende het poeder. De eerste manier is het lozen van het restpoeder in het vuilwaterriool, en de andere manier is het restpoeder te laten verwerken door een afvalverwerkingsbedrijf. Aan het lozen van stoffen in het vuilwaterriool zitten verschillende voorwaarden. De Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) mogen niet zomaar worden geloosd. Voor het belangrijkste bestanddeel van Inconel 718, nikkel, is een grenswaarde van 0,5 gram per liter vastgesteld. Door de dichtheid van Inconel 718 moet het mengsel van water en restpoeder worden verdund voordat het kan worden geloosd. Dit gaat in tegen het principe van Wet Milieubeheer over het gebruik van grondstoffen. Tevens past het lozen van gevaarlijke stoffen in het riool niet bij de ambitie van Aeronamic om milieuvriendelijk te produceren. Een milieuvriendelijkere optie is het laten verwerken van het restpoeder door een afvalverwerkingsbedrijf. Aeronamic doet al zaken met een afvalverwerkingsbedrijf. Dit afvalverwerkingsbedrijf kan worden gecontacteerd om het afval van het AM proces eveneens te verwerken. Dit is in het tijdbestek van dit onderzoek niet gelukt.

7.5 Risicoscenario's

Uit de analyse over de risicovolle eigenschappen van Inconel 718 is gebleken dat het voornaamste risico het gezondheidsrisico is. Het poeder is niet explosief dus is in de risicoscenario's gekeken naar de blootstelling van de medewerker aan het poeder. Wanneer er een reële mogelijkheid is dat de medewerker wordt blootgesteld aan het poeder, moet de medewerker beschermingsmiddelen dragen. In de praktijk moet het compromis tussen werkbaarheid en veiligheid worden gemaakt. Bij de start van de proeffabriek wordt uitgegaan van het principe dat de medewerker volledig beschermd moet zijn wanneer de medewerker actief met het poeder bezig is.

7.6 ATEX

Om goed voorbereid te zijn, is met de beschikbare kennis van het betreffende moment uit het onderzoek, onderzoek gedaan naar de gevolgen voor Aeronamic mocht Inconel 718 explosief zijn. Als met explosief poeder wordt gewerkt, moet worden voldaan aan de ATEX richtlijnen. Dit heeft gevolgen voor de indeling van de ruimte en de apparatuur dat in die ruimte gebruikt mag worden. Voor Inconel 718 is een indeling gemaakt wat er moet gebeuren als het poeder explosief is. De verschillende zones zijn in kaart gebracht en aangegeven op de plattegrond van de ideale opstelling. Doordat Inconel 718 niet explosief is, hoeft de ATEX indeling niet te worden gevolgd. Echter heeft Aeronamic de ambitie om met andere poeders te printen. Mocht worden besloten om met een explosief poeder te printen, dienen de stappen uit dit onderzoek te worden gevolgd. Dit resulteert in een zonering met bijbehorende maatregelen.

7.7 Huidige situatie

Er is een aantal verschillen in de huidige situatie ten opzichte van de ideale situatie. De proeffabriek wordt opgestart bij Aeronamic, locatie Almelo. Door het gebrek aan ruimte grenzen de verschillende ruimtes niet aan elkaar. Doordat de ruimtes niet aan elkaar grenzen, moet het geprinte product, vanuit de printerruimte, worden verplaatst via de fabriekshal naar de nabewerkingsruimte. Het is mogelijk dat restpoeder op het geprinte product is achtergebleven. In dit scenario is het reëel dat Inconel 718 in de fabriekshal terecht komt. In het hoofdstuk aanbevelingen wordt hier verder op ingegaan. Een ander belangrijk verschil tussen de huidige en ideale situatie is dat de argon voorraad in de printerruimte staat. Door de zuurstof verdringende eigenschap van argon moet dit goed worden ingericht. In het hoofdstuk aanbevelingen wordt hier verder op ingegaan.

8. Aanbevelingen

In de conclusie (zie vorig hoofdstuk) is het duidelijk geworden dat een aantal punten verder moeten worden uitgewerkt. Ook is beschreven dat een aantal aanbevelingen reeds zijn gerealiseerd. Een voorbeeld hiervan is de beschermingsmiddelen die reeds in gebruik zijn genomen. In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen die zijn gerealiseerd niet meegenomen zodat het overzichtelijk blijft wat er nog moet gebeuren om de proeffabriek en het AM proces veilig in te richten.

8.1 Werkvoorschriften

Bij de start van een nieuw proces horen werkinstructies voor de medewerkers. Deze werkinstructies moeten er voor zorgen dat de medewerkers weten hoe ze het nieuwe proces moeten uitvoeren en hoe ze dit veilig kunnen doen. Doordat tijdens het AM proces wordt gewerkt met poeder dat ernstige gevolgen kan hebben voor de gezondheid van de medewerkers dienen de werkinstructies goed te zijn ingericht. Voordat de werkvoorschriften kunnen worden gemaakt zijn er basisafspraken nodig. Ook is het aan te bevelen om niet elke medewerker toegang tot de proeffabriek te geven. Hier kan voor worden gekozen omdat het poeder ernstige gezondheidsrisico's met zich mee kan brengen.

Basisafspraken – De inhoud van de basisafspraken is de eerste input voor de werkvoorschriften. Een voorbeeld van een basisafpraak is dat de printerruimte niet zonder wegwerphandschoenen mag worden betreden. Een ander voorbeeld is dat het geprinte product altijd met wegwerphandschoenen wordt vastgepakt. Als laatste voorbeeld kan de algemene regel worden ingesteld, dat de medewerker volledig beschermd moet zijn wanneer er actief wordt gewerkt met poeder. Onder actief werken met poeder wordt bijvoorbeeld verstaan het schoonmaken van de bouwkamer van de printer. Deze basisafspraken kunnen per stap in het AM proces worden uitgebreid naar werkinstructies.

Toegang proeffabriek – Het is aan te bevelen om alleen getrainde medewerkers toegang te geven tot de proeffabriek. Door de mensen te trainen, wordt men bewust van de risico's van het poeder. Tijdens de training kan er ook uitleg worden gegeven over de beschermingsmiddelen die moeten worden gedragen. Door alleen getraind personeel toegang te geven tot de proeffabriek wordt de kans kleiner dat gevaarlijke situaties ontstaan. Wanneer er bezoekers, zowel intern als extern, voor de proeffabriek zijn dan is het aan te raden dat altijd minimaal één getrainde medewerker van Aeronamic aanwezig is in de proeffabriek.

Werkinstructies – Uit de FMEA is gebleken dat acht stappen het AM proces vormen. Voor elke stap in het AM proces moeten werkinstructies worden gemaakt. In deze werkinstructies staan voorbeelden hoe de medewerker om moet gaan met de beschermingsmiddelen. Een voorbeeld hiervan is een beschrijving hoe de medewerker de handschoenen uit doet zonder dat de medewerker wordt blootgesteld aan het poeder.

Taak risico analyse – Nadat de werkinstructies zijn gemaakt, wordt gekeken hoe het proces in de praktijk gaat. Door een taak risico analyse te maken worden de handelingen van de medewerker beoordeeld. Wanneer er uit de taak risico analyse blijkt dat de werkinstructies in de praktijk niet voldoende zijn, kunnen deze werkinstructies worden aangepast. Op deze manier wordt het AM proces veiliger. Dit kan worden gedaan wanneer de proeffabriek volledig is ingericht.

8.2 Nazorg

Uit de conclusie is gebleken dat de nazorg van Inconel 718 niet is afgerond. Het afvalverwerkingsbedrijf dat het poeder mogelijk gaat verwerken moet gecontacteerd worden. Wanneer beide partijen overeen zijn gekomen moet de procedure voor een veilige overdracht worden geschreven. Naast het afvoeren van het poeder is het aan te raden voor Aeronamic dat het poeder niet te lang in de proeffabriek blijft liggen. Dit kan het bedrijf doen door 'Good Housekeeping' toe te passen.

Good Housekeeping – Met Good Housekeeping in de proeffabriek wordt bedoeld dat de proeffabriek relatief schoon blijft. Op dit moment doet Aeronamic zaken met een schoonmaakbedrijf. Dit zelfde schoonmaakbedrijf kan worden ingehuurd om de proeffabriek geregeld schoon te maken. Wanneer hiertoe besloten wordt dan is het aan te bevelen om vaste schoonmakers aan te stellen. Deze vaste schoonmakers moeten vervolgens worden geïnstrueerd over de risico's van Inconel 718.

8.3 ATEX

Uit het onderzoek, dat door een derde instantie is uitgevoerd, is gebleken dat Inconel 718 niet explosief is. De zone indeling voor de proeffabriek uit dit onderzoek hoeft niet te worden overgenomen, zolang er wordt geprint met Inconel 718. Wanneer er in de toekomst wordt besloten om met een ander poeder te printen, moet dit poeder worden getest op explosiviteit. Wanneer blijkt dat het poeder explosief is, dan kan het stappenplan uit dit onderzoek worden gebruikt om de proeffabriek explosie veilig in te richten. Dit houdt in dat de NPR 7910-2 gevolgd moet worden. Het is aan te bevelen om het zoneringsgebied zo klein mogelijk te houden. Wanneer een zone de laagste classificatie 22 krijgt, heeft dit gevolgen voor de apparatuur die in deze zone mag worden gebruikt. Hierbij valt te denken aan de apparaten die voor het AM proces nodig zijn, maar ook bijvoorbeeld verlichting en schakelaars.

8.4 Huidige situatie

De huidige proeffabriek van Aeronamic verschilt van de ideale situatie, dit is te wijten aan het ruimtegebrek bij Aeronamic, locatie Almelo. Wanneer de proeffabriek in de toekomst wordt verhuisd naar de Technology Base Twente dan is het aan te bevelen om de proeffabriek volgens de ideale situatie in te richten. Hier kunnen uitzonderingen voor worden gemaakt. Zolang er met Inconel 718 wordt geprint, is het niet nodig gebleken om een explosievrije opslagbunker voor het poeder aan te schaffen. Wanneer er andere, en meer, poeders worden gebruikt, kan een explosievrije poederbunker worden overwogen. In de huidige situatie sluiten de verschillende ruimtes niet op elkaar aan. Dit heeft als gevolg dat een geprint product wordt verplaatst door de fabriekshal. Hierdoor is het mogelijk dat poeder dat op het product was achtergebleven, in de fabriekshal terecht komt. Dit past niet bij de visie van Aeronamic, het poeder moet tot de proeffabriek worden beperkt. Het is aan te bevelen om de geprinte producten in een goed afsluitbare kist te verplaatsen. Door de producten hierin te verplaatsen blijft het poeder beperkt tot de proeffabriek en de kisten. Deze kisten kunnen worden meegenomen in de Good Housekeeping procedure.

Bibliografie

- Additive Manufacturing. (2017). *What is Additive Manufacturing*. Retrieved September 8, 2017, from www.additivemanufacturing.com: <http://www.additivemanufacturing.com/basics/>
- ADR. (2017). *gevarenklasse*. Retrieved november 6, 2017, from www.adr-opleider.nl: <https://www.adr-opleider.nl/adr-gevarenklassen.html>
- Aeronamic. (2018, januari 3). Inconel 718. (Schippers, Interviewer)
- Ansell. (2017). *pva*. Retrieved november 6, 2017, from www.industrialcatalogue.ansell.eu: <http://www.industrialcatalogue.ansell.eu/nl/pva>
- Arbeidsveiligheidsnet. (2017). *gevaar van een stofexplosie*. Retrieved november 27, 2017, from www.arbeidsveiligheid.net: <https://www.arbeidsveiligheid.net/veiligheidsartikelen/het-gevaar-van-een-explosie-door-stof>
- Arbokennisnet. (2017). *Explosieveiligheid*. Retrieved 11 14, 2017, from www.arbokennisnet.nl: http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Explosieveiligheid_en_verstikkingsgevaar/D_Explosieveiligheid.pdf
- Arboportaal. (2016). *Arbowetgeving*. Retrieved September 15, 2017, from www.arboportaal.nl: <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/arbowetgeving>
- Arboportaal. (2017). *arbeidshygiënische-strategie*. Retrieved oktober 2, 2017, from www.arboportaal.nl: <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/arbeidshygiënische-strategie>
- Arboportaal. (2017). *Explosieveiligheid-atex*. Retrieved november 16, 2017, from www.arboportaal.nl: <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/explosieveiligheid-atex>
- ATEX. (2014). *wat-is-een-explosie*. Retrieved oktober 31, 2017, from www.atex-zaklamp.nl: <http://www.atex-zaklamp.nl/atex-informatief/wat-is-een-explosie/index.html>
- ATEXcertificaat. (2017). *Atex-zone*. Retrieved September 8, 2017, from www.atexcertificaat.nl: <https://www.atexcertificaat.nl/wat-is-atex/atex-zone/>
- bodembescherming. (2017). *vloeistofdichte-vloer*. Retrieved oktober 18, 2017, from www.bodembescherming.nl: <http://www.bodembescherming.nl/vloeistofdichte-vloer-verharding>
- Bodembescherming. (2017). *vloeistofkerende-vloer*. Retrieved oktober 18, 2017, from www.bodembescherming.nl: <http://www.bodembescherming.nl/vloeistofkerende-vloer>
- Bryman, A. (2012). *Social research methods*. Oxford: Oxford university press.
- Denios. (2017). *brandveiligheidsopslagkasten*. Retrieved oktober 15, 2017, from www.denios.nl: <https://www.denios.nl/nl/shop/veiligheidskasten-en-kleinverpakkingstellingen/90-minuten-brandwerende-veiligheidskasten-q-serie/q-basic-1200-mm-met-3-legborden/200-987-01/g+c+a+nr?show=+Accessoires>

- Denios. (2017). *recirculatieopzetunit*. Retrieved oktober 15, 2017, from www.denios.nl:
<https://www.denios.nl/nl/shop/veiligheidskasten-en-kleinverpakkingstellingen/mechanische-afzuiging-brandveiligheidskasten/ufa-recirculatie-opzetunit/156-498/g+c+a+nr>
- Eurlex. (2016). *www.eur-lex.europa.eu*. Retrieved oktober 20, 2017, from legal-content: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0425&from=NL>
- Euronorm. (2016). *ATEX*. Retrieved September 8, 2017, from www.euronorm.net:
<http://www.euronorm.net/content/template2.php?itemID=634>
- Euronorm. (2016). *ATEX 114*. Retrieved September 8, 2017, from www.euronorm.net:
<http://www.euronorm.net/content/template2.php?itemID=1259>
- Euronorm. (2016). *EVD*. Retrieved September 8, 2017, from www.euronorm.net:
<http://www.euronorm.net/content/template2.php?itemID=1793>
- Euronorm. (2017). *ATEX*. Retrieved november 23, 2017, from www.euronorm.net:
<http://www.euronorm.net/content/template2.php?itemID=1799>
- Europees Parlement. (1994, Maart 23). Richtlijn 94/9/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 maart 1994. *Richtlijn 94/9/EG*, p. 29.
- Europees Parlement. (1999). RICHTLIJN 1999/92/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD. *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, 8.
- Europees Parlement. (2014). Publicatieblad van de Europese Unie. *RICHTLIJN 2014/34/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD*, p. 48.
- Gevaarlijkstoffen. (2017). *klasse4.1*. Retrieved oktober 4, 2017, from www.gevaarlijkstoffen.net:
<http://www.gevaarlijkstoffen.net/index.php/klasse-4-1>
- Infomil. (2017). *Lozingsvoorschriften*. Retrieved januari 2, 2018, from www.infomil.nl:
<https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/activiteiten/gemotoriseerd/bewerken-metaal/aanbrengen/lozingsvoorschriften/>
- Lampe. (2017). *stofexplosie*. Retrieved from www.lampe.nl:
<http://www.lampe.nl/site/images/upload/stofexplosiedef.pdf>
- Luchtenruimtevaart. (2016). *economisch-belang kenmerken sector*. Retrieved September 18, 2017, from www.luchtenruimtevaart.nl: <http://www.luchtenruimtevaart.nl/wie-wij-zijn/economisch-belang/kenmerken-sector.html>
- mathesongas. (2017). *LEL and UEL*. Retrieved november 1, 2017, from www.mathesongas.com:
[https://www.mathesongas.com/pdfs/products/Lower-\(LEL\)-&-Upper-\(UEL\)-Explosive-Limits-.pdf](https://www.mathesongas.com/pdfs/products/Lower-(LEL)-&-Upper-(UEL)-Explosive-Limits-.pdf)
- NEN. (2017). *Europese en internationale normen*. Retrieved September 8, 2017, from www.nen.nl:
<https://www.nen.nl/Normontwikkeling/Wat-is-normalisatie/Europese-en-internationale-normen.htm>

- Overheid. (2017). *Activiteitenbesluit*. Retrieved januari 2, 2018, from [www.wetten.overheid.nl:
http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01#Hoofdstuk4_Afdeling4.5_Paragraaf4.5.12_Artikel4.73](http://www.wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01#Hoofdstuk4_Afdeling4.5_Paragraaf4.5.12_Artikel4.73)
- Oxforddictionaries. (2017). *3D_printing*. Retrieved September 8, 2017, from [www.en.oxforddictionaries.com: https://en.oxforddictionaries.com/definition/3d_printing](https://en.oxforddictionaries.com/definition/3d_printing)
- Particle. (2017). *technology book*. Retrieved from [www.particles.org.uk:
http://www.particles.org.uk/particle_technology_book/chapter_15.pdf](http://www.particles.org.uk/particle_technology_book/chapter_15.pdf)
- PGS 15. (2017). *PGS 15*. Retrieved oktober 4, 2017, from [www.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl.nl:
http://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl.nl/documents/PGS15/PGS_15_2016_versie_1_0_sept_2016_definitief.pdf](http://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl.nl/documents/PGS15/PGS_15_2016_versie_1_0_sept_2016_definitief.pdf)
- PGS15. (2016). *Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen*.
- RIVM. (2017, november 3). *ADR*. Retrieved from [www.rivm.nl:
http://www.rivm.nl/rvs/Gevaarsindeling/ADR](http://www.rivm.nl/rvs/Gevaarsindeling/ADR)
- rivm. (2017). *Fijnstof*. Retrieved november 6, 2017, from [www.rivm.nl:
http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Algemeen_Actueel/Uitgaven/Milieu_Leefomgeving/Dossier_Fijn_stof/Maart_2013/Stof_hoe_en_wat.org](http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Algemeen_Actueel/Uitgaven/Milieu_Leefomgeving/Dossier_Fijn_stof/Maart_2013/Stof_hoe_en_wat.org)
- RVS.RIVM. (2017). *ZZSlijst*. Retrieved januari 2, 2018, from [www.rvs.rivm.nl:
http://rvs.rivm.nl/zoeksysteem/ZZSlijst/TotaleLijst](http://rvs.rivm.nl/zoeksysteem/ZZSlijst/TotaleLijst)
- Schaardenburgh-Verhoeve, K. v. (2017). *Praktijkgids Arbeidsveiligheid*. Alphen aan den Rijn: Vakmedianet.
- Sculpteo. (2017). *DMLS definition*. Retrieved September 8, 2017, from [www.sculpteo.nl:
https://www.sculpteo.com/en/glossary/dmls-definition/](https://www.sculpteo.com/en/glossary/dmls-definition/)
- Sculpteo. (2017). *selective laser melting*. Retrieved September 8, 2017, from [www.sculpteo.com:
https://www.sculpteo.com/en/glossary/selective-laser-melting-definition/](https://www.sculpteo.com/en/glossary/selective-laser-melting-definition/)
- TNO. (2017). *Additive Manufacturing*. Retrieved September 18, 2017, from [www.tno.nl:
https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/industrie/flexible-free-form-products/additive-manufacturing/](https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/industrie/flexible-free-form-products/additive-manufacturing/)
- Wetten.nl. (2017). *BWBR*. Retrieved September 18, 2017, from [www.wetten.overheid.nl:
http://wetten.overheid.nl/BWBR0008498/2017-07-01#Hoofdstuk3_Afdeling1_Paragraaf2a_Artikel3.5e](http://wetten.overheid.nl/BWBR0008498/2017-07-01#Hoofdstuk3_Afdeling1_Paragraaf2a_Artikel3.5e)

Bijlage

Bijlage 1 Brandveiligheidsopslagkast

De volgende artikelen zijn besteld na onderzoek en advies over brandveiligheidsopslagkasten.

Q-BASIC: 1200 mm met 3 legborden



- ✓ 90 minuten brandwerend met CE markering
- ✓ Getest en goedgekeurd volgens EN-14470-1, EN 1363-1 en EN 1427
- ✓ GS kwaliteitskeurmerk: Bewegende delen meer dan 50.000 keer getest.
- ✓ FM approved voor wereldwijde conformiteit.
- ✓ Extreem robuuste constructie met krasbestendige structuurlak.
- ✓ Deur(en) blijven in elke positie open staan.
- ✓ Deur(en) leverbaar in 7 standaard kleuren
- ✓ Vloeistofdichte gelaste opvanglegborden, laden en bodemopvangbak.
- ✓ Opvanglegborden 150 kg belastbaar.
- ✓ Visuele controle afzuigcapaciteit.
- ✓ Geïntegreerde transportsokkel, voor het eenvoudig verplaatsen van de kast.
- ✓ Op aanvraag kunnen wij ook het inhuizen voor u verzorgen.

Omschrijving	Q90.195.120-B met 3 legborden, 1 opvangbak, blauw
Type	Q90.195.120-B
Afm. inwendig B x D x H (mm)	1050 x 520 x 1645
Afmetingen uitwendig B x D x H (mm)	1200 x 615 x 1955
Uitvoering	3 legborden, 1 bodemopvangbak
Opvangcapaciteit bodemopvangbak / legborden (l)	55 / 33
Draagkracht per legbord (kg)	150
Gewicht (kg)	424
Materiaal	Gelakt staal
Kleur	Gentiaanblauw (RAL 5010)
Afmetingen opvanglegbord B x D x H (mm)	1025 x 445 x 71

(Denios, 2017)

UFA Recirculatie-opzetunit



- ✓ Voorkom dure doorgangen door muren en ruimte vretende afvoerleidingen.
- ✓ Geen kostbare luchtkanalen nodig, gemakkelijk en veilig te monteren.
- ✓ Optimale flexibiliteit door onafhankelijkheid van bouwkundige voorzieningen.
- ✓ Explosieveilige zone rondom de kast vervalst.
- ✓ Actieve bescherming van personen door het filtersysteem, dat de gezondheidsschadelijke dampen veilig opvangt en absorbeert.

Omschrijving	UFA, afzuigstelsel met koolactiefilter
Type	UFA.20.30
Afm. uitwendig B x D (x H) (mm)	305 x 555 x 210
Uitvoering	recirculatie-opzetfilterunit, compleet met meertraps filtersysteem, netsnoer en stekker
Materiaal	plaatstaal
Kleur	lichtgrijs (RAL 7035) / zwart
Netspanning (V)	230
Geluidsniveau dB(A)	39

(Denios, 2017)

Bijlage 2 PGS15

De citaten zijn onderdeel van PGS15:2016.

De volgende ADR klassen mogen niet in deze opslagvoorziening aanwezig zijn, maar moeten separaat worden opgeslagen:

- ADR klasse 1
- ADR klasse 5.2
- ADR klasse 6.2 met uitzondering van UN 3291 en UN 3373;
- ADR klasse 7

Bijlage 3 Beschermingsmiddelen







DE COATING VAN POLYVINYLALCOHOL PRESTEERT BETER DAN DE MEESTE ANDERE TYPES CHEMISCH BESTENDIGE HANDSCHOENEN.

BESCHRIJVING

- > Eén van de enige handschoenen die geschikt zijn voor de behandeling van sterke organische oplosmiddelen.
- > Reageert vrijwel niet in aanraking met aromatische en chloorhoudende oplosmiddelen.
- > Anatomisch gevormde, comfortabele handschoenen met voorgebogen vingers en vrijstaande duim. Gemakkelijker te manipuleren en minder vermoeiend om dragen.
- > Zachte tricot voering in twee delen. Beschermt de hand en slorpt transpiratie op.



OPMERKINGEN

- > Antistatisch volgens EN1149
- > Opgelet: Deze handschoen NIET gebruiken in water of met waterhoudende oplosmiddelen

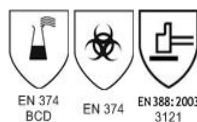
BELANGRIJKSTE SECTOREN



IDEALE TOEPASSINGEN

- > Grafische sector
- > Chemische verwerking en voorbereiding
- > Elektronicafabrieken

CATEGORIE III



PERMEATIEDOORBRAAKTIJDEN VOLGENS EN374-3:2003

> 15-554

	Om te downloaden	Coating-materiaal	Voering-materiaal	Greep-voorzieningen	Manchet- stijl	Kleur	AQL (EN374)	EN-maat	Lengte mm	Dikte mm	Verpakking
15-554	   	Polyvinylalcohol	Interlockkatoen	Gladde afwerking.	Kaphandschoen	Rood	1.0	9, 10	355	Not applicable	1 paar per zak; 12 zakken per karton

(Ansell, 2017)

RISICOCATEGORIEËN VAN PBM

In deze bijlage zijn de categorieën vastgelegd van de risico's waartegen PBM de gebruiker moeten beschermen.

Categorie I

Categorie I omvat uitsluitend de volgende minimale risico's:

- a) oppervlakkig mechanisch letsel;
- b) contact met vrij onschadelijke schoonmaakmiddelen of langdurig contact met water;
- c) contact met warme oppervlakken van niet meer dan 50 °C;
- d) schade aan de ogen als gevolg van blootstelling aan zonlicht (anders dan tijdens observatie van de zon);
- e) weersomstandigheden die niet extreem van aard zijn.

Categorie II

Categorie II omvat andere risico's dan die vermeld in de categorieën I en III;

Categorie III

Categorie III omvat uitsluitend de risico's die zeer ernstige gevolgen kunnen hebben, zoals overlijden of onomkeerbare schade aan de gezondheid, en die betrekking hebben op het volgende:

- a) stoffen en mengsels die gevaarlijk zijn voor de gezondheid;
- b) ademlucht met te weinig zuurstof;
- c) schadelijke biologische agentia;
- d) ioniserende straling;
- e) warme omgeving met effecten die vergelijkbaar zijn met die van een luchttemperatuur van minstens 100 °C;
- f) koude omgeving met effecten die vergelijkbaar zijn met die van een luchttemperatuur van – 50 °C of minder;
- g) naar beneden vallen van grote hoogte;
- h) elektrische schok en onder spanning werken;
- i) verdrinking;
- j) snijwonden door kettingzagen;

- k) hogedrukstralen;
- l) schotwonden of messteken;
- m) schadelijk lawaai.

(Eurlex, 2016)

Bijlage 4 PGS 15

De citaten van PGS 15 hoofdstuk 3.3 brandveiligheidsopslagkast.

- *‘Een brandveiligheidsopslagkast, waarvan het eerste gebruik heeft plaatsgevonden na 1 januari 2006, moet aan NEN-EN-14470-1 voldoen. Een brandveiligheidsopslagkast waarvan het eerste gebruik dateert van vóór die datum moet ten minste voldoen aan NEN 2678. Bij het gebruik van de brandveiligheidsopslagkasten moet tevens worden voldaan aan de eisen van bijlage F. Brandveiligheidskasten met een opslagcapaciteit groter dan 250 kg of ter plaatse gebouwde kasten moeten als een reguliere opslagvoorziening conform Hoofdstuk 3 van deze PGS worden beschouwd.’*
- *‘Binnen de inrichting moet een productcertificaat aanwezig zijn voor de brandveiligheidsopslagkast (waarvan het eerste gebruik heeft plaatsgevonden na 1 januari 2006), waaruit blijkt dat deze voldoet aan de NEN-EN-14470-1.’*
- *‘Op een verdieping mogen per brandcompartiment maximaal twee brandveiligheidsopslagkasten worden opgesteld. Hierbij wordt een kelder wel als een verdieping beschouwd en de begane grond van een gebouw niet. Dit voorschrift is niet van toepassing indien uitsluitend gevaarlijke stoffen van ADR-klasse 8, verpakkingsgroep II of III, zonder bijkomend gevaar en/of ADR-klasse 9 worden opgeslagen.’*
- *‘Een brandveiligheidsopslagkast mag niet in een vluchtroute zijn gelegen en mag het vluchten niet belemmeren.’*

Bijlage 5 Berekeningen

De vulkamer van de 3D metaalprinter heeft de volgende omvang in millimeters: 250 x 250 x 325. Dit komt neer op 20312500 kubieke millimeter. Omgerekend naar liters is dit 20,3 liter. Namelijk $20312500/1000000 = 20,3$ liter.

De densiteit van Inconel 718 is volgens EOS 8,19 gram per vierkante centimeter. $20312,5 \times 8,19 = 166357,375$. Door dit bedrag te delen door 1000 wordt het kilogram per liter. $166357,375/1000 = 166,4$ kg per 20 liter. Voor de maximale opslag van 40 liter is dit 332,8 kilogram.

Bijlage 6 ATEX

Inkomend goed inspectie

Deze inspectie wordt bepaald wanneer de apparatuur bij Aeronamic is geleverd.

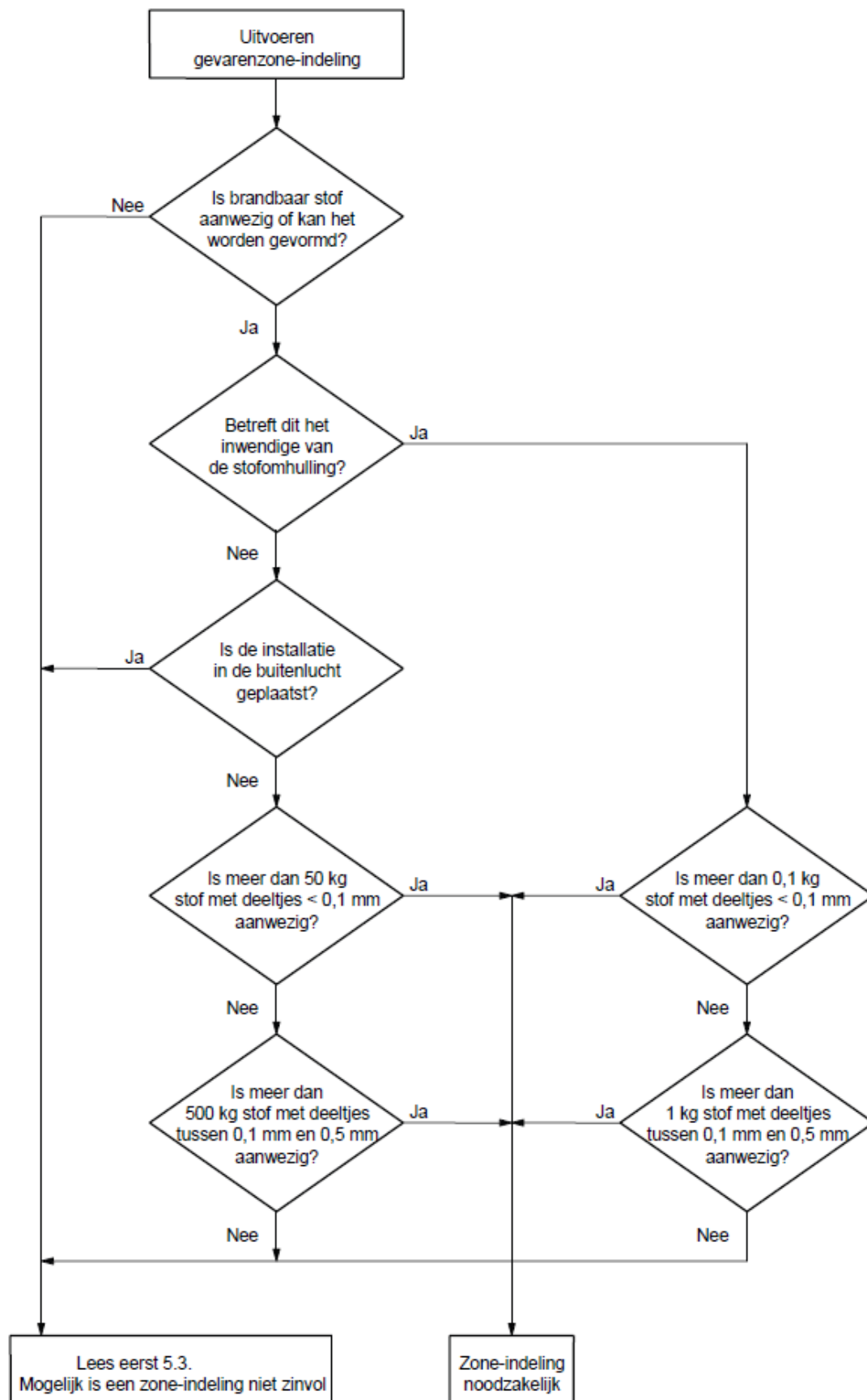
	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling		
	Zone bepaling stofwolk		
	Zone bepaling stoflaag		
	Zone afmeting		

	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling		
	Zone bepaling stofwolk		
	Zone bepaling stoflaag		
	Zone afmeting		

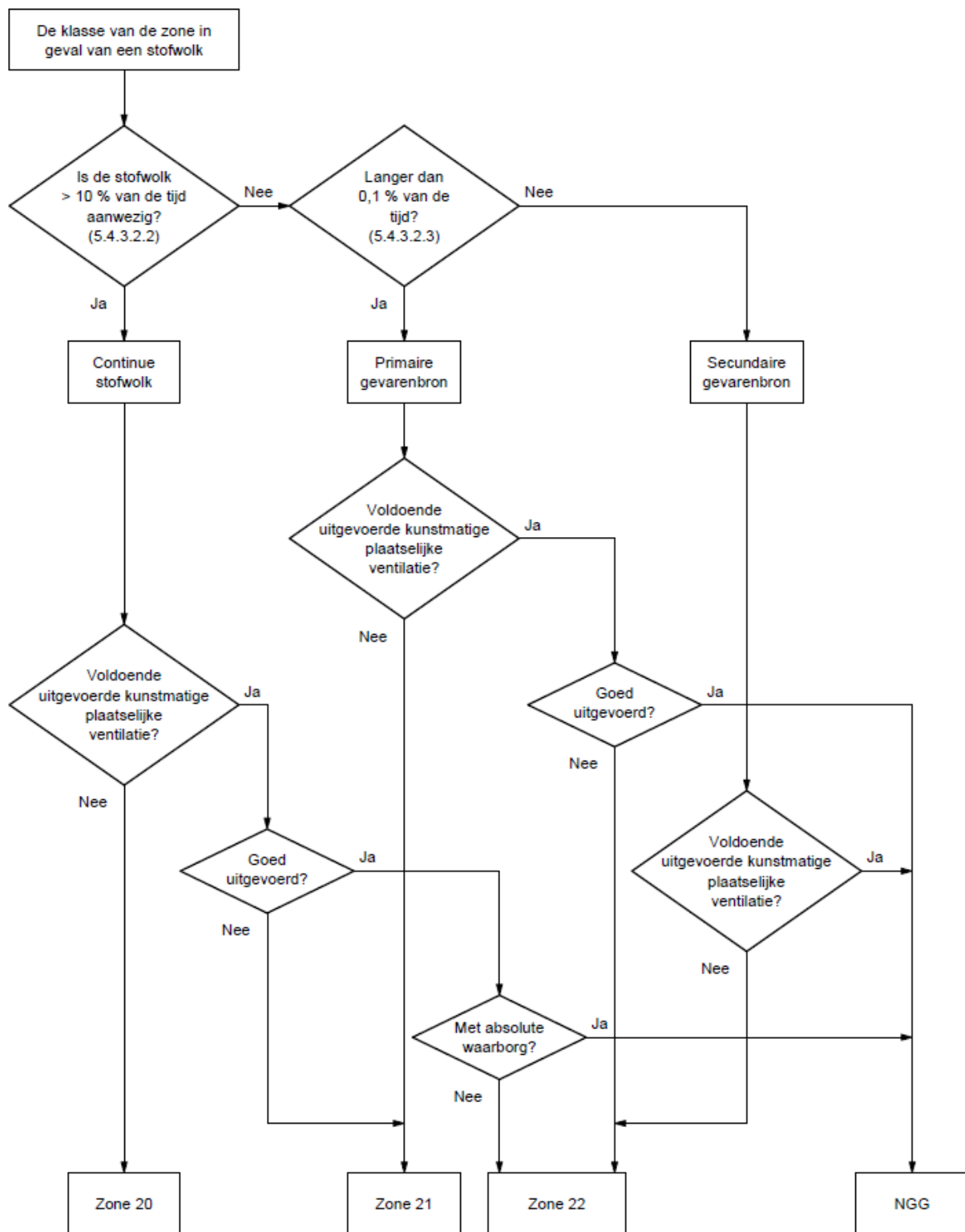
	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling		
	Zone bepaling stofwolk		
	Zone bepaling stoflaag		
	Zone afmeting		

	Onderdeel	Uitkomst	Acties
	Zone indeling		
	Zone bepaling stofwolk		
	Zone bepaling stoflaag		
	Zone afmeting		

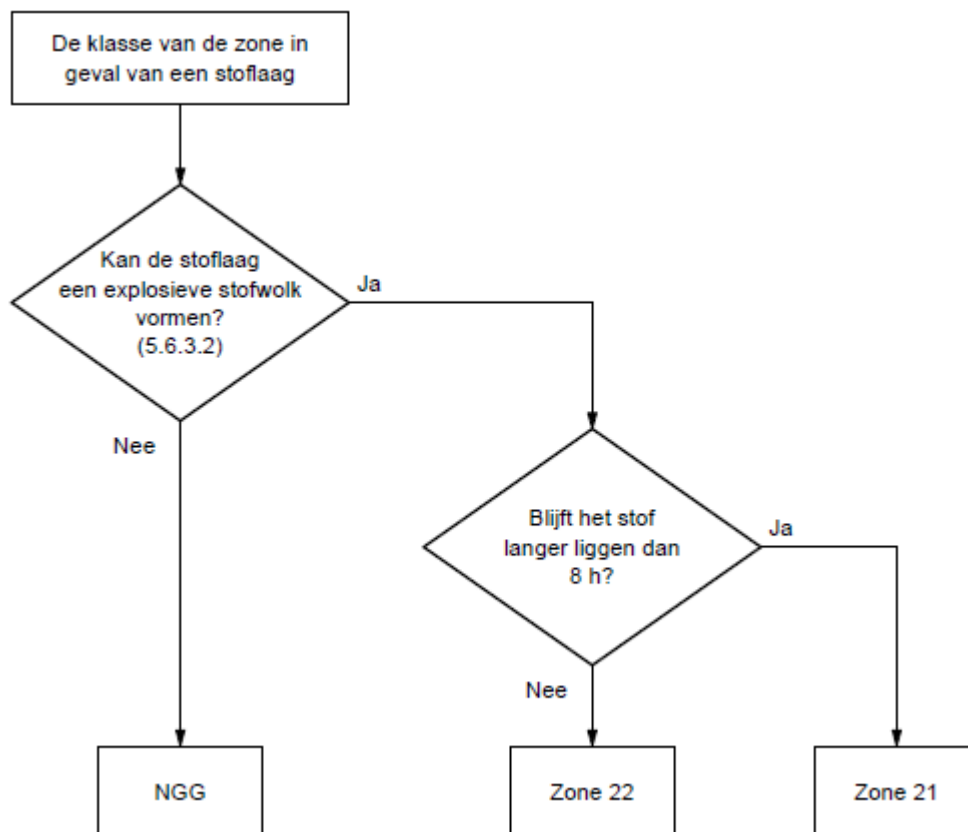
Onderstaande figuren uit bijlage 6 komen uit de NPR 7910-2. Deze zijn met goedkeuring van Aeronamic opgenomen.



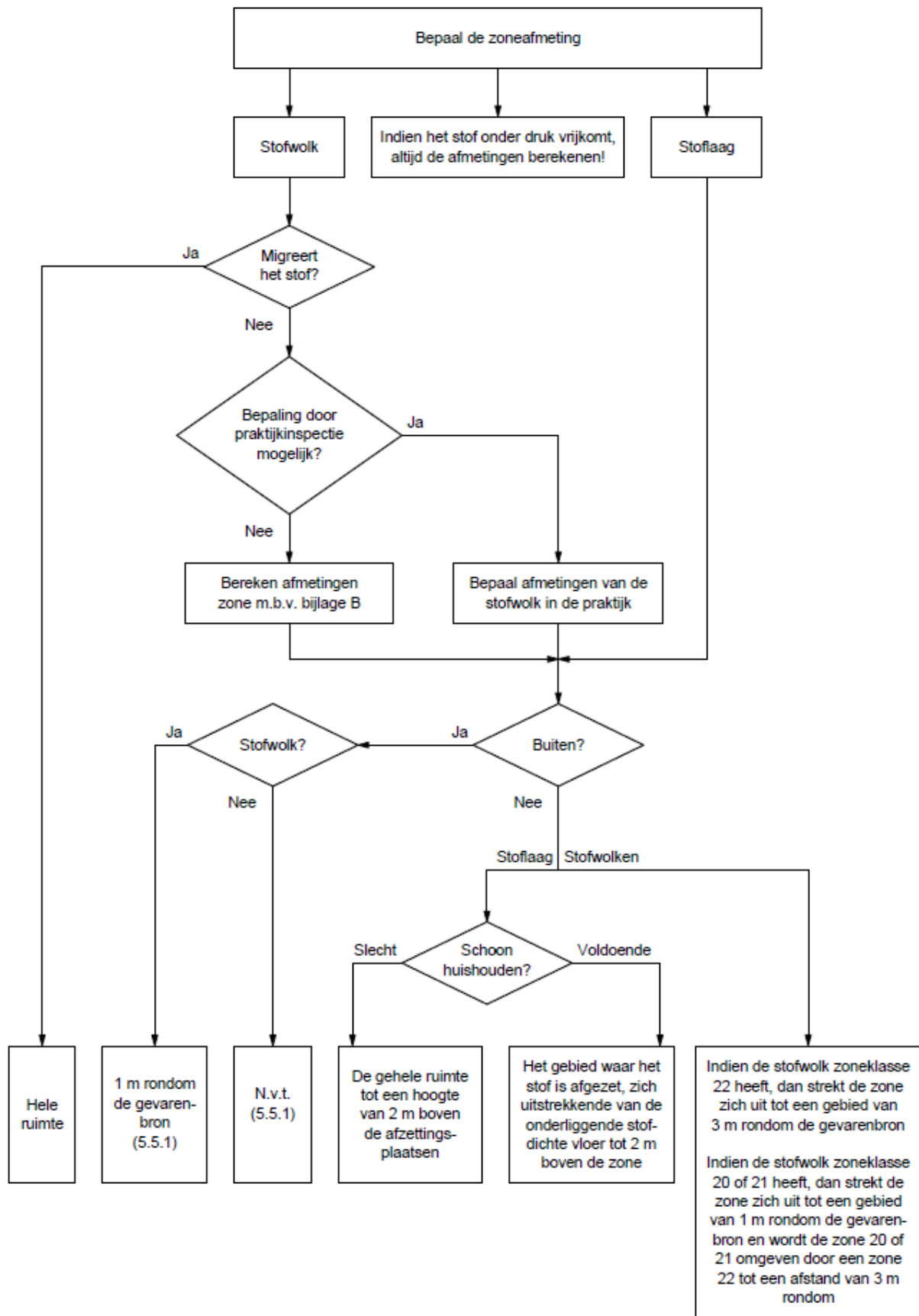
Figuur 17 Zone indeling



Figuur 18 Zone bepaling stofwolk



Figuur 19 Zone bepaling stoflaag



Figuur 20 Zone afmeting

Bijlage 7 MSDS Inconel 718 EOS

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the

1.1 Product identifier

Trade name

EOS NickelAlloy IN718

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses of the substance or mixture

heat resistant nickel alloy for DMLS processes in EOSINT M systems

Uses advised against

No data available.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Address

Electro Optical Systems Finland Oy

Lemminkäisenkatu 36

20520 Turku

FINLAND

Telephone no. +358 (0) 20 765 9144 / 9147

Fax no. +358 (0) 20 765 9141

Information provided by / telephone

+49 (0) 89 / 893 36 - 0

Advice on Safety Data Sheet

MSDSInfo@eos.info

Identification of the supplier

Address

EOS GmbH - Electro Optical Systems

Robert-Stirling-Ring 1

82152 Krailling / München

GERMANY

Telephone no. +49 (0) 89 / 893 36 - 0

Fax no. +49 (0) 89 / 893 36 - 22 85

1.4 Emergency telephone number

+49 (0) 89 / 893 36 - 0 (8 am - 5 pm)

+49 (0) 89 / 893 36 - 151 (Mo - Thu: 9 am - 12 pm & 1 - 6 pm; Fr: 1 - 4 pm) (CET)

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification in accordance with Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)

Aquatic Chronic 3; H412

Carc. 2; H351

Skin Sens. 1; H317

STOT RE 1; H372

Classification information

This product is assessed and classified using the methods and criteria below referred to in Article 9 of Regulation (EC)

n° 1272/2008:

Physical hazards: determined through assessment data based on the methods or standards referred to in part 2 of

Annex I to CLP

Health hazards and environmental hazards: determined through toxicological and ecotoxicological assessment data based on the methods or standards referred to in Part 3, 4 and 5 of Annex I to CLP.

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

2.2 Label elements

Labelling according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP Regulation)

Hazard pictograms



GHS07



GHS08

Signal word

Danger

Hazardous component(s) to be indicated on label:

nickel powder; [particle diameter < 1 mm]

Hazard statements

H317 May cause an allergic skin reaction.
H351 Suspected of causing cancer
H372 Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure.
H412 Harmful to aquatic life with long lasting effects.

Precautionary statements

P260 Do not breathe dust/fume/gas/mist/vapours/spray.
P280 Wear protective gloves/protective clothing.
P405 Store locked up.

2.3 Other hazards

No data available.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

Not applicable. The product is not a substance.

3.2 Mixtures

Chemical characterization

nickel base super alloy

Hazardous ingredients

No	Substance name	Additional information	
	CAS / EC / Index / REACH no	Classification (EC) 1272/2008 (CLP)	Concentration %
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]		
	7440-02-0	Aquatic Chronic 3; H412	>= 50.00 - < 70.00 %b.w.
	231-111-4	Carc. 2; H351	
	028-002-01-4	Skin Sens. 1; H317	
	01-2119438727-29	STOT RE 1; H372**	
2	chromium		
	7440-47-3	-	>= 10.00 - < 25.00 %b.w.
	231-157-5		
	-		
	-		

Full Text for all H-phrases and EUH-phrases: pls. see section 16

(* , ** , *** , ****) Detailed explanation pls. refer to CLP regulation No. 1272/2008, annex VI, 1.2

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General information

In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately. Remove contaminated clothing and shoes immediately, and launder thoroughly before reusing. If the patient is likely to become unconscious, place and transport in stable sideways position.

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

After inhalation

Remove affected person from the immediate area. Ensure supply of fresh air. Irregular breathing/no breathing: artificial respiration. Call a doctor immediately.

After skin contact

When in contact with the skin, clean with soap and water. Seek medical attention.

After eye contact

Separate eyelids, wash the eyes thoroughly with water (15 min.).

After ingestion

Rinse mouth thoroughly with water. Call a doctor immediately. Never give anything by mouth to an unconscious person.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

No data available.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No data available.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

special powder against burning metal

Unsuitable extinguishing media

Water; Carbon dioxide; ABC powder; Foam

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

In the event of fire, the following can be released: Carbon dioxide (CO₂); Carbon monoxide (CO); Nickel oxide

5.3 Advice for firefighters

Run-off water from fire fighting must not be discharged into drains or enter surface water. Use self-contained breathing apparatus. Wear protective clothing.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

For non-emergency personnel

Refer to protective measures listed in sections 7 and 8. Ensure adequate ventilation. Avoid dust formation. Avoid contact with skin, eyes and clothing. Keep away sources of ignition.

For emergency responders

No data available. Personal protective equipment (PPE) - see Section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not discharge into the drains/surface waters/groundwater. Do not discharge into the subsoil/soil.

6.3 Methods and material for containment and cleaning up

Small quantities of spilled material may be collected dry or wet. In large quantities: Take up mechanically. When aspirators are used, make sure that they are equipped with efficient dust filters (HEPA).

6.4 Reference to other sections

No data available.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Advice on safe handling

Product inherent handling risks must be minimised taking the appropriate measures for protection and preventive actions. The working process should be designed to rule out the release of hazardous substances or skin contact as far as possible by the state of the art. Provide good ventilation of working area (local exhaust ventilation, if necessary). Avoid contact with skin and eyes. Avoid dust formation.

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

General protective and hygiene measures

Do not eat, drink or smoke during work time. Keep away from foodstuffs and beverages. Wash hands before breaks and after work. Avoid contact with eyes and skin. Do not inhale dust. Remove soiled or soaked clothing immediately. Provide eye wash fountain in work area. Have emergency shower available.

Advice on protection against fire and explosion

Dust can form an explosive mixture with air. Take precautionary measures against static charges. Keep away from sources of ignition - refrain from smoking.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Technical measures and storage conditions

Keep container tightly closed and dry in a cool, well-ventilated place. Protect against mechanical damage.

Requirements for storage rooms and vessels

Containers which are opened must be carefully closed and kept upright to prevent leakage. Always keep in containers of same material as the original one.

Advice on storage assembly

Do not store together with: Mineral acids; Acids

7.3 Specific end use(s)

No data available.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Occupational exposure limit values

No	Substance name	CAS no.	EC no.
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]	7440-02-0	231-111-4
	List of approved workplace exposure limits (WELs) / EH40		
	Nickel		
	TWA	0.1	mg/m ³
	Skin resorption / sensibilisation	Sk	
2	chromium	7440-47-3	231-157-5
	List of approved workplace exposure limits (WELs) / EH40		
	Chromium		
	TWA	0.5	mg/m ³

DNEL and PNEC values

DNEL values (worker)

No	Substance name	CAS / EC no		
	Route of exposure	Exposure time	Effect	Value
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]			7440-02-0 231-111-4
	dermal	Long term (chronic)	local	0.035 mg/cm ²
	inhalative	Long term (chronic)	systemic	0.05 mg/m ³
	inhalative	Short term (acute)	systemic	680 mg/m ³
	inhalative	Long term (chronic)	local	0.05 mg/m ³
	inhalative	Short term (acute)	local	4 mg/m ³

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

DNEL value (consumer)

No	Substance name			CAS / EC no	
	Route of exposure	Exposure time	Effect	Value	
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]			7440-02-0 231-111-4	
	oral	Long term (chronic)	systemic	0.02	mg/kg/day
	oral	Short term (acut)		12	µg/kg/day
	dermal	Long term (chronic)	local	0.035	mg/cm ²
	inhalative	Long term (chronic)	systemic	20	ng/m ³
	inhalative	Short term (acut)	systemic	408	mg/m ³
	inhalative	Long term (chronic)	local	20	ng/m ³
	inhalative	Short term (acut)	local	2.4	mg/m ³

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls

No data available.

Personal protective equipment

Respiratory protection

If workplace exposure limits are exceeded, a respiration protection approved for this particular job must be worn. In case of dust formation, take appropriate measures for breathing protection in the event workplace threshold values are not specified. Respirator with particulate filter (filter cat. P 3)

Eye / face protection

Safety glasses with side protection shield (EN 166)

Hand protection

In case of intensive contact, wear protective gloves (EN 374). Before use, the protective gloves should be tested in any case for its specific work-station suitability (i.e. mechanical resistance, product compatibility and antistatic properties). Adhere to the manufacturer's instructions and information relating to the use, storage, care and replacement of protective gloves. Protective gloves shall be replaced immediately when physically damaged or worn. Design operations thus to avoid permanent use of protective gloves.

Appropriate Material butyl rubber
Appropriate Material nitrile rubber

Other

Wear fully closed clothing. Closed ESD safety footwear (ESD according to EN 61340-4-3 or equivalent).

Environmental exposure controls

No data available.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Form/Colour					
Powder					
grey					
Odour					
odourless					
Odour threshold					
No data available					
pH value					
No data available					
Boiling point / boiling range					
No data available					
Melting point / melting range					
Value		1350	-	1450	°C

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

Decomposition point / decomposition range

No data available

Flash point

no data available

Auto-ignition temperature

No data available

Oxidising properties

not oxidizing

Explosive properties

The product does not have explosive properties.

Flammability (solid, gas)

No data available

Lower flammability or explosive limits

Not applicable

Upper flammability or explosive limits

Not applicable

Vapour pressure

No data available

Vapour density

No data available

Evaporation rate

No data available

Relative density

No data available

Density

No data available

Bulk density

Value		3.5	-	4.5	g/cm ³
-------	--	-----	---	-----	-------------------

Solubility in water

not determined

Solubility(ies)

No data available

Partition coefficient: n-octanol/water

No data available

Viscosity

No data available

9.2 Other information

Other information

No data available.

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity

No data available.

10.2 Chemical stability

No data available.

10.3 Possibility of hazardous reactions

No data available.

10.4 Conditions to avoid

Heat, naked flames and other ignition sources. Spontaneously inflammable when finely dispersed. Hydrogen gas is released upon contact with mineral acids and may form explosive compounds with air. May form toxic gaseous nickel carbonyl under certain conditions (high pressure, high carbon monoxide concentration).

10.5 Incompatible materials

Mineral acids; Acids

10.6 Hazardous decomposition products

Nickel oxides

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute oral toxicity			
No	Substance name	CAS no.	EC no.
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]	7440-02-0	231-111-4
LD50	>	9000	mg/kg bodyweight
Species	rat		
Method	OECD 401		
Source	ECHA		
Acute dermal toxicity			
No data available			
Acute inhalational toxicity			
No data available			
Skin corrosion/irritation			
No data available			
Serious eye damage/irritation			
No data available			
Respiratory or skin sensitisation			
No	Substance name	CAS no.	EC no.
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]	7440-02-0	231-111-4
Route of exposure		Skin	
Species	Human		
Source	Manufacturer		
Evaluation	sensitizing		
Evaluation/classification	Based on available data, the classification criteria are met.		

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

Germ cell mutagenicity

No data available

Reproduction toxicity

No data available

Carcinogenicity

No data available

STOT-single exposure

No data available

STOT-repeated exposure

No	Substance name	CAS no.	EC no.
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]	7440-02-0	231-111-4
Route of exposure		oral	
NOAEL		2.2	mg/kg
Species		rat	
Method		OECD 451	
Source		Manufacturer	
Evaluation/classification		Based on available data, the classification criteria are met.	

Aspiration hazard

No data available

Symptoms related to the physical, chemical and toxicological characteristics

Eye contact may cause mechanical irritation through dust particles.

Delayed and immediate effects as well as chronic effects from short and long-term exposure

Inhalation of dusts may irritate the respiratory tract. Danger of acute health hazards by longer exposure. Possibility of sensitisation through skin contact. Sensitisation possible through inhalation.

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

SECTION 12: Ecological information

12.1 Toxicity

Toxicity to fish (acute)
No data available

Toxicity to fish (chronic)
No data available

Toxicity to Daphnia (acute)
No data available

Toxicity to Daphnia (chronic)
No data available

Toxicity to algae (acute)
No data available

Toxicity to algae (chronic)
No data available

Bacteria toxicity
No data available

12.2 Persistence and degradability

No data available.

12.3 Bioaccumulative potential

No data available.

12.4 Mobility in soil

No data available.

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

No data available.

12.6 Other adverse effects

No data available.

12.7 Other information

Other information
Do not discharge product unmonitored into the environment.

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product

Allocation of a waste code number, according to the European Waste Catalogue, should be carried out in agreement with the regional waste disposal company.

Packaging

Residuals must be removed from packaging and when emptied completely disposed of in accordance with the regulations for waste removal. Incompletely emptied packaging must be disposed of in the form of disposal specified by the regional disposer.

Trade name: EOS NickelAlloy IN718

Product no.: 9011-0020

Current version : 4.0.0, issued: 01.06.2015

Replaced version: 3.0.0, issued: 20.04.2015

Region: GB

SECTION 14: Transport information

14.1 Transport ADR/RID/ADN

The product is not subject to ADR/RID/ADN regulations.

14.2 Transport IMDG

The product is not subject to IMDG regulations.

14.3 Transport ICAO-TI / IATA

The product is not subject to ICAO-TI / IATA regulations.

14.4 Other information

No data available.

14.5 Environmental hazards

Information on environmental hazards, if relevant, please see 14.1 - 14.3.

14.6 Special precautions for user

No data available.

14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code

Not relevant

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

EU regulations

Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) Annex XIV (List of substances subject to authorisation)

According to the data available and/or specifications supplied by upstream suppliers, this product does not contain any substances considered as substances requiring authorisation as listed on Annex XIV of the REACH regulation (EC) 1907/2006.

REACH candidate list of substances of very high concern (SVHC) for authorisation

According to available data and the information provided by preliminary suppliers, the product does not contain substances that are considered substances meeting the criteria for inclusion in annex XIV (List of Substances Subject to Authorisation) as laid down in Article 57 and article 59 of REACH (EC) 1907/2006.

Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) Annex XVII: RESTRICTIONS ON THE MANUFACTURE, PLACING ON THE MARKET AND USE OF CERTAIN DANGEROUS SUBSTANCES, PREPARATIONS AND ARTICLES

The product contains following substance(s) that are considered being subject to REACH regulation (EC) 1907/2006 annexe XVII.

No	Substance name	CAS no.	EC no.	No
1	nickel powder; [particle diameter < 1 mm]	7440-02-0	231-111-4	23, 27

Directive 2012/18/EU on the control of major-accident hazards involving dangerous substances

This product is not subject to Part 1 or 2 of Annex I.

Other regulations

Adhere to the national sanitary and occupational safety regulations when using this product.

15.2 Chemical safety assessment

No data available.

SECTION 16: Other information

Sources of key data used to compile the data sheet:

Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), 1272/2008 (CLP) as amended in each case. EC Directives 2000/39/EC, 2006/15/EC, 2009/161/EU

National Threshold Limit Values of the corresponding countries as amended in each case.

Transport regulations according to ADR, RID, IMDG, IATA as amended in each case.

The data sources used to determine physical, toxic and ecotoxic data, are indicated directly in the corresponding chapter.