

OPKOMENDE RISICO'S VOOR ARBEIDSVEILIGHEID: WERKEN IN DEZELFDE RUIMTE ALS EEN COBOT

Datum >

28 augustus 2018

TNO innovation
for life

> **Rapportage voor**
Ministerie van Sociale Zaken en
Werkgelegenheid

OPKOMENDE RISICO'S VOOR ARBEIDSVEILIGHEID: WERKEN IN DEZELFDE RUIMTE ALS EEN COBOT

Rapport voor	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
Datum	28 augustus 2018
Auteurs	Anne Jansen, Dolf van der Beek, Anita Cremers, Mark Neerincx en Johan van Middelaar
Projectnummer	060.31545
Rapportnummer	TNO 2017 R11463
Projectnaam	WP 2 Robotisering
Contact TNO	Johan van Middelaar
Telefoon	+31 88866 2072
E-mail	Johan.vanmiddelaar@tno.nl

Woord Vooraf

Voor u ligt het rapport 'Opkomende risico's voor arbeidsveiligheid; werken in dezelfde ruimte als een cobot. Het rapport is het derde rapport in de reeks van opkomende risico's in relatie tot nieuwe technologieën.

In 2016 is in het rapport 'Opkomende risico's voor arbeidsveiligheid als gevolg van IT-koppelingen van en tussen arbeidsmiddelen' de relatie onderzocht tussen IT-koppelingen en de beveiliging tegen cybersecurityrisico's. Tevens is vorig jaar het rapport 'Opkomend risico voor arbeidsveiligheid door inzet van robots op de werkvloer' opgeleverd. Hiermee is onderzoek gedaan naar risicobeheersing voor arbeidsveiligheid gedurende de verschillende fasen van de levenscyclus van robots.

In het huidige rapport bouwt TNO verder op deze kennis door ook een inventarisatie te maken van de arbeidsveiligheidsrisico's en bijbehorende beheersmaatregelen in relatie tot nieuwe opkomende autonome systemen waar werknemers in de toekomst mee gaan samenwerken, ook wel bekend als de cobot. Het eindresultaat is een risicokaart met een aantal belangrijke risico's en risicobeheersmaatregelen. De kenniskaart is een praktisch hulpmiddel voor ondernemers, werkgevers en werknemers hoe een werkplek veilig en gezond kan worden ingericht bij gebruik van cobots op de werkvloer. De kenniskaart vormt tevens een belangrijke kennisbron voor vervolgstudies.

TNO wil graag de deelnemende bedrijven en instanties bedanken voor hun bijdrage aan de kennisontwikkeling op het gebied van robotica en arbeidsveiligheid. TNO wenst de lezer succes bij het implementeren van de ontwikkelde kennis en veel inspiratie om nieuwe risico's in de werksituatie te beheersen.



Inhoudsopgave

Woord Vooraf.....	3
Lijst met afkortingen	4
1 Inleiding	5
1.1 Resultaat onderzoek	7
1.2 Leeswijzer	7
2 Aanpak	8
2.1 Literatuur- en internetscan	9
2.2 Interviews	9
2.3 Workshop	10
3 Resultaten literatuuronderzoek naar cobots	12
3.1 Kennisvraag 1	12
3.2 Kennisvraag 2	19
3.3 Kennisvraag 3	29
4 Interview- en workshopresultaten	33
4.1 Kennisvraag 1: Welke nieuwe (autonome) gerobotiseerde systemen zijn er?	33
4.2 Kennisvraag 2: Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen en wat zijn beheersmaatregelen?	34
5 Conclusie.....	55
5.1 Welke cobotsystemen met een gradatie van autonomie zijn reeds beschikbaar of te verwachten in de nabije toekomst'	55
5.2 Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen?.....	55
6 Discussie	62
A Appendix: Protocol interviews	65
B Appendix: Cobot en AGV systemen in de interne logistiek	68
C Appendix: HAZOP-UML	71
D Appendix: Resultaten interviews en workshop	73

Lijst met afkortingen

AGV	Automated Guided Vehicle
AI	Artificiële intelligentie
AR	Augmented Reality
BHV	Bedrijfshulpverlening
CE	Conformité Européenne
CMTRA	Cobot-Mens Taak Risico Analyse
EHBO	Eerste Hulp Bij Ongevallen
FTA	Fault Tree Analysis
FMECA	Fail Mode, Effecten en Criticality Analysis
HAZOP	HAZard and OPerability studie
HR	Human Resources
HSE	Health, Safety & Environment
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light-Emitting Diode
LiDaR	Light Detection And Ranging
LMRA	Last Minute Risk Assessment
LORA	Levels of Robot Autonomy
MAR	Multi-Annual Roadmap for Robotics
MBO	Middelbaar Beroepsonderwijs
MRI	Mens-robot interactie
PHA	Process Hazard Analysis
PL	Performance Level
PLC	Programmable Logic Controller
PSA	Psycho Sociale Arbeidsfactor(en)
RI&E	Risico Identificatie & Evaluatie
SIL	Safety Integrity Level
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
TRA	Taak Risico Analyse
SZW	Het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
UML	Unified Modeling Language

1 Inleiding

In 2015 heeft het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (hierna SZW) TNO de vraag gesteld om onderzoek te doen naar de opkomende risico's voor arbeidsveiligheid als gevolg van het weghalen van de fysieke afscheiding rondom machines en robots in de industriële arbeidsomgeving. Dit heeft in 2016 geleid tot een onderzoeksrapport¹ en bondige samenvatting van de risico's en beheersmaatregelen, die volgens de arbeidshygiënische strategie in een zogenaamde kenniskaart zijn samengebracht. Daarbij is rekening gehouden met de diverse fasen in de levenscyclus van de robot. In vervolg op dit rapport zal in dit onderzoek specifiek ingegaan worden op de arbeidsveiligheidsrisico's en bijbehorende beheersmaatregelen in relatie tot de cobot.

Het rapport uit 2015 toonde aan de hand van voorbeelden dat de robotindustrie met een enorme snelheid een opmars aan het maken is in diverse arbeidsdomeinen (van zorg tot maakindustrie). Een direct gevolg is dat robots vaker de menselijke arbeid zullen gaan overnemen en/of ondersteunen². Ook wordt de programmering van industriële robots steeds complexer en gaan robots steeds meer of complexere taken in mindere of meerdere mate autonoom uitvoeren. Met autonomie wordt in dit verband bedoeld dat robots zo geprogrammeerd zijn dat ze (door middel van AI) zelf beslissingen kunnen nemen. Deze robots kunnen met sensoren hun omgeving 'waarnemen' en daarop anticiperen en reageren. Ze zijn zelflerend en kunnen zich zelfstandig (voort)bewegen in de ruimte. In de nabije toekomst zullen deze robots niet meer beperkt zijn tot een vaste locatie of een kooi maar de arbeidsvloer met hun menselijke collega's delen.

Men spreekt dan over 'collaboratieve robots' (afgekort 'cobots'). Een goed voorbeeld daarvan is de kleine robot YuMi³ van ABB die al buiten een kooi geplaatst wordt, maar nog wel op een sokkel staat. De YuMi is zelflerend, communiceert via Industrie 4.0 standaarden met een service center, werkt samen met een assemblagemedewerker en stopt als je hem aanraakt. De volgende stap naar 'collaborative workspace'⁴ lijkt niet ver weg. Dit is een gedeelde taakomgeving binnen de werkruimte waar het robotsysteem (inclusief het werkstuk) en een mens tegelijkertijd taken kunnen uitvoeren als onderdeel van de productie.

Bijna tegelijkertijd met het TNO rapport is een standaard uitgebracht door ISO met betrekking tot deze collaboratieve robots (ISO TS 15066). Later in het rapport gaan we op meer detail in op deze nieuwe norm (paragraaf 3.1), maar voor nu is het vooral belangrijk om te bedenken dat ook deze norm nog niet alle mogelijke risico's heeft kunnen afdekken die de introductie van nieuwe technologieën met zich mee kunnen brengen. Denk bijvoorbeeld aan dreigingen voor cobots vanuit de cybersecurity (zie TNO rapport 2015¹) of risico's als gevolg van het intelligenter worden van de robot als gevolg van Artificiële Intelligentietoepassingen

¹ Steijn, W., Van der Beek, D, Luijff, H, R10643 Opkomend risico voor arbeidsveiligheid door inzet van robots op de werkvloer, TNO Rapport 2016 R10643

² Think Act Beyond Mainstream; Of robotics and men in logistics (2016). Roland Berger Instituut.

³ YuMi: Yumi is de nieuwe productie robot van ABB met flexibele armen en tal van sensoren die moet gaan samenwerken met mensen. Deze robot is simpel te programmeren en kan taken vervullen zoals het in elkaar zetten van tablets, smartphones en andere computers.

https://www.youtube.com/watch?v=ytC9WC3ec_0

⁴ ISO/TS 15066:2016(E) paragraaf 3.3

in de software. Verdere verkenning van de mogelijke risico's en bijbehorende beheersmaatregelen is daarom nog altijd wenselijk om toekomstige ontwikkelingen van de norm en wetgeving omtrent cobots te ondersteunen.

Het gebruik van zelflerende algoritmen in de software in combinatie met het vergroten van de mobiliteit en de beslissingsautonomie van cobots kan op termijn ertoe leiden dat handelingen van de cobot minder voorspelbaar zullen zijn voor de menselijke operator die moet samenwerken met de cobot. De primaire risicoreductiestrategie die gebruikt wordt bij traditionele robotsystemen: het gebruik van technische beveiligingen die de robot van de mens scheidt en zo het gevaar wegneemt, is op collaboratieve mens-robot systemen niet meer van toepassing. Het afschermen van de cobot zou namelijk de toegevoegde waarde wegnemen. Er moet dus een betrouwbare en robuuste virtuele kooi (ook wel 'softcage' genoemd) komen in plaats van de fysieke kooi om de veiligheid te kunnen garanderen van hun menselijke collega's.

Voor een inherent veilig ontwerp is het noodzakelijk om te anticiperen op mogelijke (voorziene) risicoscenario's als gevolg van cobot gedrag. Het zal echter onmogelijk zijn alles te voorzien in het ontwerp. Daarom is het ook zaak om de cobot te zien als deelnemer in het groter geheel van mens en omgeving. De cobot functioneert in een zogenaamd cobot-mens-omgeving- systeem. In dit systeem werken cobot en mens als het ware samen als team, met elk hun eigen taken en verantwoordelijkheden, die onderlinge afstemming en communicatie vergen.

TNO zal in dit rapport een eerste stap maken door een inventarisatie van de arbeidsveiligheidsrisico's en bijbehorende beheersmaatregelen in relatie tot de cobot. Hierbij richten wij vooral op het arbeidsveiligheidsrisico van verwonding of overlijden als gevolg van een incident met een of meer personen en een cobot op de werkvloer. Om tot een goede uitwerking te komen van dit doel zijn in dit rapport de volgende kennisvragen opgesteld ter ondersteuning:

- 1: *'Welke cobotsystemen met een gradatie van autonomie zijn reeds beschikbaar of te verwachten in de nabije toekomst'.*
- 2: *'Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen en wat zijn beheersmaatregelen?'*
- 3: *'In hoeverre zijn bestaande technieken voor de analyse en beheer van risico's bruikbaar in werksituaties waarin meer autonome robotsystemen worden ingezet of zijn hiervoor aanvullende aanpakken noodzakelijk?'*

1.1 Resultaat onderzoek

Op basis van op de vorige pagina benoemde kennisvragen worden de volgende resultaten opgeleverd in dit rapport:

Voor kennisvraag 1: Een inventarisatie van toepassingen van AGV's en cobots (in magazijnen) met een hoge mate van autonomie en potentiële risico's.

Voor kennisvraag 2: Een inventarisatie van risico's en risicobeheersmaatregelen betrekking tot geautomatiseerde robotsystemen.

Voor kennisvraag 3: Een model, waarmee modelgebaseerde risico-inventarisatie en analyse van mens-robot (software)systemen in de toekomst mogelijk wordt.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de gevolgde methodiek om de onderzoeksvragen te beantwoorden en het resulterende overzicht van risico's en mogelijke beheersmaatregelen. In hoofdstuk 2 volgt uitleg over de gebruikte methodologie, namelijk een literatuuronderzoek, interviews en een workshop. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het literatuuronderzoek en de workshops beschreven. Hoofdstuk 4 presenteert de samenvatting van de resultaten van de gehouden interviews en de workshop. Hoofdstuk 5 geeft tot slot een algehele conclusie met betrekking tot de onderzoeksvragen en een korte discussie waarin een kijkje en een advies naar de toekomst wordt gegeven.

2 Aanpak

Om antwoord te geven op de onderzoeksvragen en de verwachte resultaten te kunnen opleveren zijn de volgende activiteiten uitgevoerd.

1. **Literatuur en internetscan:** Via een literatuur- en internetscan is het onderwerp verkend en de scope voor dit rapport afgebakend (zie hoofdstuk 3) Tevens is er een raamwerk gemaakt voor mens-robot-omgeving interactie, waarbinnen relevante gevaren en beheersmaatregelen kunnen worden geïdentificeerd en gecategoriseerd. De literatuur en internetscan geeft primair antwoord op kennisvraag 1 en 3.
2. **Gestructureerde interviews:** Er zijn gestructureerde interviews gehouden met experts, op gebied van cobotveiligheid, cobotontwikkeling en cobotgebruik. In de interviews is vooral gefocust op een beantwoording van kennisvraag 2.
3. **Workshopsessie:** Een workshop georganiseerd, waarbij de eerste resultaten uit de stappen 1 en 2 zijn teruggekoppeld aan de (geïnterviewde) experts om de resultaten verder aan te vullen en te verdiepen. Ook hier is vooral gefocust op verdere beantwoording van kennisvraag 2.

Arbeidshygiënische strategie

Op basis van de eerdere TNO-rapporten zal de arbeidshygiënische strategie worden gebruikt als uitgangspunt voor de uit de interviews en workshop verkregen resultaten voor risicobeheersing. De arbeidshygiënische strategie maakt gebruik van de volgende hiërarchie van beheersmaatregelen zoals beschreven in de Arboret:

1. Bronmaatregelen (o.a., elimineren en isoleren van gevaar).
2. Collectieve maatregelen (o.a., afschermen van een groep van gevaar).
3. Individuele maatregelen.
4. Persoonlijke beschermingsmiddelen.

De strategie beschrijft de volgorde waarin organisaties veiligheidsmaatregelen moeten nemen en gaat uit van de best beschikbare technieken. Tevens wordt uitgegaan van het redelijkerwijs-principe. Dit principe houdt in dat maatregelen van een ander niveau kunnen worden gekozen als maatregelen van een hoger niveau redelijkerwijs niet of slechts beperkt haalbaar zijn.

De gekozen beheersmaatregelen moeten in de praktijk wel doeltreffend zijn. Een indicatie van mate van doeltreffendheid is afhankelijk van de omstandigheden waarvoor de maatregelen genomen worden.

De haalbaarheid van de te kiezen maatregelen hangt onder meer af van verplichtingen op basis van normvoorschriften, de arbeidsomstandigheden waarin werknemers werken, of situaties waarin maatregelen elkaar uitsluiten (indien voor de ene maatregel wordt gekozen heeft de andere maatregel geen toegevoegde waarde).

Levenscyclus

In dit project worden de nieuwe risico's en risicobeheersmaatregelen benaderd vanuit de levenscyclus van arbeidsmiddelen.

Deze levenscyclus kent de volgende indeling: a) ontwerp/engineering, b) productie/integrators/leverantie/installatie, c) gebruik, d) onderhoud, e) vernieuwing, tot en met f) afvoeren.

Voor cobots kunnen vergelijkbare fasen in de gehele levenscyclus van een cobot worden onderkend. De gebruik en onderhoudsfase zijn belangrijke fasen omdat daarin de risico's voor de veiligheid in relatie tot de tot mens in het arbeidsproces vooral tot uiting komen en kunnen worden onderzocht.

2.1 Literatuur- en internetscan

Ter verkenning van het onderzoeksgebied mens-robot interactie en arbeidsveiligheid en ter voorbereiding van de onderzoeksvragen is een literatuurstudie gedaan waarin gekeken is naar informatiebronnen die meer theoretische informatie gaven om kennisvraag 2 te beantwoorden. De volgende aspecten komen in paragraaf 3.1 aan de orde:

1. Definities van samenwerkende robots en voorbeelden daarvan uit de logistieke keten.
2. Robotautonomie en mens-cobot samenwerking
3. Symbolische (semantische kennis) en Sub symbolische AI (Machine learning) van de cobot,
4. Factoren die meespelen in (sociale) interactie met de mens.

Voor kennisvraag 2 is vervolgens ook gekeken naar bestaande richtlijnen voor veilig ontwerpen van cobots tegen fysieke gevaren en algemeen geldende risico's voor toepassingen van cobots in een industriële setting.

Ter beantwoording van kennisvraag 3 is gekeken naar literatuur die recente risico-analysetechnieken beschrijven, die de risico's en risicobeheersmaatregelen voor cobots in kaart kunnen brengen.

2.2 Interviews

2.2.1 Interviewprotocol

De interviews waren semigestructureerd, dat wil zeggen dat er vooraf een protocol is opgesteld met vragen die konden dienen als handvat. Tijdens de interviews werd echter voornamelijk doorgevraagd naar datgene waar de geïnterviewde persoon veel over kon vertellen. De interviews duurden ieder een uur tot 1,5 uur. In Appendix A staat het gehanteerde interviewprotocol. Vragen werden indien nodig bijgesteld op basis van de achtergrond van de geïnterviewde.

2.2.2 Deelnemers

Op basis van de literatuur- en internetscan is een actoranalyse gemaakt waarbij met name actoren zijn geselecteerd die kennis hebben van robotsystemen in het algemeen en actoren die specifieke kennis bezitten ten aanzien van AGV's. Deze experts zijn vervolgens per mail uitgenodigd voor het interview. Het doel was om tot maximaal acht deelnemers te komen. Een eerste reeks van uitnodigen is verstuurd in augustus. In Tabel 1 is in een overzicht een anonieme beschrijving van de geïnterviewde deelnemers opgenomen.

Tabel 1. Achtergrond geïnterviewden

Functie	Specialisatie
1 producent	Geautomatiseerde mobiele voertuigen + cobots
2 onderzoeker	Veiligheidsengineering in de automotive industrie
3 producent en systeemintegrator	AGV's, cobots en modulaire systemen
4 producent	Twee armige cobots
5 systeemintegrator	AGV's en cobots
6 producent en systeemintegrator	Robotarmen
7 eindgebruiker	Veiligheid levensmiddelenindustrie
8 eindgebruiker	Veiligheid levensmiddelenindustrie

2.3 Workshop

In oktober is een workshop “*Veilig samen-werken met de cobot*” gehouden. Experts zijn direct aan het eind van het interview uitgenodigd voor deze workshop. Daarnaast is een uitnodiging verstuurd naar dezelfde actorenlijst die gebruikt is voor het samenstellen van de lijst met geïnterviewden. Dit resulteerde uiteindelijk in 14 deelnemers en drie TNO-projectleden. Onder de 14 deelnemers waren vier eerder geïnterviewde deelnemers. Een overzicht van deelnemers is weergegeven in tabel 2.

Het doel van de workshop was om antwoord te geven op kennisvraag 2, door drie voorbeeldsystemen (een traditioneel transportmiddel, de huidige AGV en de AGV van de toekomst) met elkaar te vergelijken. Hierbij werd verder ingegaan op de dreigingen (gevaren), kwetsbaarheden en beheersmaatregelen per type. Hiervoor werden de deelnemers in twee groepen verdeeld die vervolgens in twee parallelle sessies brainstormden over risico's en beheersmaatregelen met behulp van twee bow-tie diagrammen. In de bow-tie diagrammen waren een aantal dreigingen en gevolgen al gedefinieerd. Deze konden door de groepen worden aangevuld. Na een veertigtal minuten wisselden de groepen van onderwerp voor een tweede ronde.

Een van de bow-ties was gebaseerd op een (fictieve) centrale gebeurtenis waarbij wantrouwen in de geautomatiseerde autonome cobot is (ontstaan). De andere bow-tie was gebaseerd op een centrale gebeurtenis waarbij er een aanrijding met de mens plaatsvindt. Beide groepen hebben zelfstandig beide scenario's uitgewerkt.

Tot slot zijn tijdens de afsluiting de resultaten van de workshop met elkaar vergeleken en samengevoegd, waarna er uitspraken zijn gedaan over de verwachte veiligheid en gezondheidseffecten voor de AGV in de toekomst. In hoofdstuk 4: Interview en workshopresultaten, zijn de dreigingen, gevolgen en beheersmaatregelen uitgewerkt. Voor de ‘traditionele machine’ (de vorkheftruck) zijn geen bow-ties uitgewerkt omdat de kandidaten te weinig kennis hadden van traditionele machines. De bevindingen voor de ‘traditionele machine’ zijn daarom na de workshop geïnventariseerd op basis van factsheets van Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).

Tabel 2. Workshop deelnemers

Partij	Type
1 TNO	Onderzoeksinstituut
2 FANUC	Producent
3 Van der Lande	Systeemintegrator
4 AGV International	Systeemintegrator
5 SICK	Producent
6 Robomotive	Systeemintegrator
7 Robotics (Fontys Hogeschool)	Kennisinstelling / Producent en Systeemintegrator
8 Holland Robotics	Samenwerkingsplatform voor Robotica
9 Philips Consumer Lifestyle	Producent
10 Heemskerk Innovative Technology	Consultancy
11 FMI Industrial Automation BV	Producent
12 Royal Ahold Delhaize	Eindgebruiker

3 Resultaten literatuuronderzoek naar cobots

Het literatuuronderzoek geeft primair antwoord op de volgende kennisvragen:

Kennisvraag 1: 'Welke cobotsystemen met een gradatie van autonomie zijn reeds beschikbaar of te verwachten in de nabije toekomst'.

Kennisvraag 3: In hoeverre zijn bestaande technieken voor de analyse en beheersing van risico's bruikbaar in werksituaties waarin meer autonome systemen worden ingezet?

Daarnaast geeft de literatuurstudie in paragraaf 3.2 inzicht in ontwerpvoorwaarden voor cobots waarmee deels al antwoord wordt gegeven op kennisvraag 2. Ook wordt in deze paragraaf een aanzet gegeven voor de inventarisatie van risico's en beheersmaatregelen voor cobots, die in hoofdstuk 4 de resultaten van de interviews en workshop verder worden uitgediept.

3.1 Kennisvraag 1

In deze paragraaf is informatie opgenomen in relatie tot kennisvraag 1:

"Welke cobotsystemen met een gradatie van autonomie zijn reeds beschikbaar of te verwachten in de nabije toekomst".

Om deze vraag te beantwoorden is het goed om eerst een beschrijving, definitie en kenmerken te geven voor cobots.

3.1.1 De definities van samenwerkende robots

Definitie robot⁵: "Een robot is een machine die kan worden geprogrammeerd, sensoren heeft, en een bepaalde gradatie van mobiliteit heeft waardoor de robot autonoom (zelfstandig) een taak kan uitvoeren."

Een andere interessante definitie van de robot die hieraan kan worden toegevoegd gaat over het (autonoom) waarnemen en handelen en is daarom tevens interessant in relatie tot dit onderzoek: "*A robot is a physical agent (machine) that can perceive its environment through sensors and (semi-autonomously) act upon that environment through actuators*".⁶

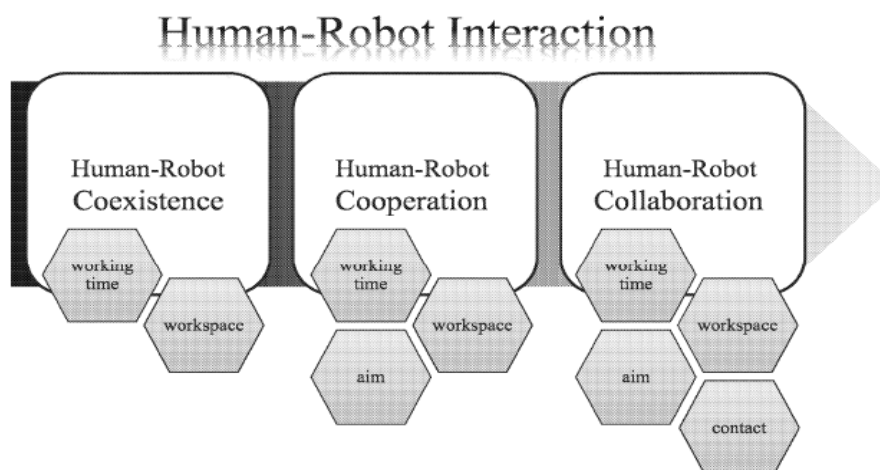
Indien er sprake is van interactie tussen mens en robot, dan kan dat op drie niveaus plaatsvinden: co-existentie, coöperatie en collaboratie (zie figuur 1). Hiervan *hebben de* collaboratieve robots (cobots) de meest uitgebreide mogelijkheden tot mens-robot interactie. In het geval van co-existentie beperkt de interactie zich tot het gegeven dat robot en mens gelijktijdig in dezelfde werkomgeving taken uitvoeren.⁷

⁵ TNO 2016 R10643 Opkomend risico voor arbeidsveiligheid door inzet van robots op de werkvloer.

⁶ <http://dai.fmph.uniba.sk/courses/intro-ai/reading/3ed-ch02-agents.pdf>

⁷ Bortot, Dino. *Ergonomic human-robot coexistence in the branch of production*. Verlag Dr. Hut, 2014.

Bij coöperatieve robots en bij cobots is er daarnaast ook nog sprake van een gemeenschappelijk doel van mens en robot. Bij cobots is er ten slotte ook nog de mogelijkheid tot fysiek contact tussen mens en robot dat plaatsvindt in een gemeenschappelijke ruimte. Dit is waarin de cobot zich vooral onderscheidt van de andere systemen.



Figuur 1: Vormen van mens-robot interactie: Coexistence, Cooperation en Collaboration (cobots).

Definitie cobot⁸: Een cobot of co-robot (van collaboratieve robot) is een robot die is ontworpen met het doel om fysieke interactie te kunnen hebben met mensen in een gedeelde werkomgeving. Dit in tegenstelling tot andere robots, die ontworpen zijn om zelfstandig met beperkte interactie met de mens te werken.

NB. De onderzoekers merken hierbij op dat het bij fysieke interactie gaat om samen met mensen met behulp van actuatoren (zie definitie robot) in te grijpen op dezelfde gedeelde omgeving (co-locatie).

De gedeelde werkruimte is een zone binnen de werkruimte van de gebruiker, waar robotsysteem en gebruiker (met het werkstuk) gelijktijdig taken kunnen uitvoeren gedurende de werkkuitvoering⁹. Medewerkers kunnen dus in de nabijheid van een cobot werken terwijl de cobot in werking is, waarbij direct (fysiek, haptisch of auditief) contact tussen medewerker en cobot mogelijk is¹⁰.

Er is echter ook indirect fysiek contact mogelijk omdat er in samenwerking ook altijd sprake is van wederzijdse afhankelijkheid (zie Johnson e.a. 2014). Als de cobot bijvoorbeeld iets omdrukt dan kan dat consequenties hebben voor de mens en visa versa. In dit verband is ook het veilig stellen van de werkomgeving van belang voor veilige interactie.

⁸ <https://en.wikipedia.org/wiki/Cobot>

⁹ ISO TS15066 (2016) Robots and robotic devices — Collaborative robots

¹⁰ ISO TS15066 (2016) Robots and robotic devices — Collaborative robots
Robots et dispositifs robotiques — Robots coopératifs

Hoewel de MAR (Multi-Annual Roadmap for Robotics)¹¹ hier geen onderscheid in maakt is er bij samenwerking met cobots altijd sprake van verschil in complexiteit, afhankelijk van de uit te voeren taken.

In de white paper: 'The role of cobot in industry' van Universal Robotics¹² wordt een aantal kenmerken van cobots genoemd, om een beter idee te geven van de cobot, cobots:

- Beschikken over robotarmen;
- Werken samen met mensen in een niet afgeschermd omgeving;
- Zijn makkelijk te programmeren door de gebruiker;
- Dienen als gereedschap voor medewerkers (en niet ter vervanging);
- Helpen bedrijven hun (geautomatiseerde) processen te beheersen.

De 'magazijn-cobot', is een robotsysteem dat autonoom en in fysieke samenwerking met menselijke werknemers veilig kan werken om items in een magazijn te halen en/of te transporteren, op te slaan en te helpen bij het verpakken en uitpakken van opslageenheden. Het kan hierbij objecten dragen, selecteren, pakken of bewerken. Het systeem beschikt over de volgende eigenschappen:

- Mens-robotinteractie, die zich aanpast aan een veranderlijke omgeving en werkbelasting (zonder substantiële herstructurering van het magazijn);
- Makkelijke configuratiebeveiliging;
- De mogelijkheid om contact te hebben met andere magazijnssystemen via een interface en het toevoegen of koppelen van een magazijnplanning, optimalisatie-algoritmes, voorraadcontrole software, e.d. (MAR, 2017)¹³.

Het verschil tussen een cobot en een coöperatieve robot is dat een coöperatieve robot geen direct contact heeft met de mens¹⁴: *Two agents are in a cooperative situation if they meet two minimal conditions:*

(1) *Each one strives towards goals and can interfere with the other on goals, resources, procedures, etc.*

(2) *Each one tries to manage the interference to facilitate the individual activities and/or the common task when it exists.*

Hoc (2001)¹⁵ definieert een coöperatieve situatie vooral als de mate waarin de robot assistentie verleent aan de mens.

*Definitie Automated Guided Vehicle (AGV): "Een Automated Guided Vehicle is een mobiele robot die markeringen, lijnen, magneten of lasers volgt op de werkvloer, om zich van A naar B te verplaatsen"*¹⁶.

¹¹ Robotics 2020: Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe, Horizon 2020 Call ICT-2017 (ICT-25, ICT-27 & ICT-28), 2017

¹² Ostergaard, the role of cobots in industry 4.0, Universal Robotics

¹³ Robotics 2020: Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe, Horizon 2020 Call ICT-2017 (ICT-25, ICT-27 & ICT-28), 2017

¹⁴ J. Schmidtler et al. (2015) Human Centred Assistance Applications for the working environment of the future.

¹⁵ Hoc, J.-M. (2007). Human and automation: a matter of co-operation. HUMAN 07, Timimoun: Algeria.

¹⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle

Hoewel dit niet geheel aansluit bij de definitie, zijn er ook recente methodes van geautomatiseerde begeleiding, waarbij camera's gebruikt worden om een beeld van de omgeving te maken (die bijvoorbeeld ook weer markeringen in de omgeving kan gebruiken voor plaatsbepaling en navigatie).

Op basis van bovenstaande indeling (Figuur 2) kan men de AGV beschouwen als een robot die coöperatief is of alleen co-existeert, en valt daarmee vaak niet onder de definitie van een cobot. Sommige bedrijven echter (zoals Tesla) hebben AGV's in werking die wel collaboreren met mensen. Zij halen de 'batterij' uit stellingen en plaatsen deze van onderen in de auto. Tegelijkertijd monteert de werknemer het onderdeel.

AGV's vormen een belangrijk onderdeel van de huidige stand der robottechniek in de interne logistiek. Ze bieden daarom voor dit onderzoek een belangrijk kader voor het verkennen van interactieveiligheid bij het inzetten van cobots in de interne logistiek. Niet dat de resultaten een op een zijn door te vertalen naar de cobot, maar ze bieden wel inzichten waarmee interactieveiligheid bij cobots in logistieke processen of productieprocessen wellicht beter begrepen kan worden.

In bijlage B zijn de resultaten van een inventarisatie van cobots en AGV's in de interne logistiek en een beschrijving van hun toepassingen weergegeven. Tabel 3 geeft een overzicht van alle geïnventariseerde systemen.

Tabel 3. Lijst met standaarden gerelateerd aan cobots (Michalos en anderen, 2015)

Cobot	Toepassingen	AGV	toepassingen
Parcel Robot	Laden en Lossen	Vorklift en klem AGV	Laden en lossen, Opslag en transport
DHL Robot	Laden en lossen	Smallegangentrucks	Opslag en transport
SSI Schaefer Robo-Pick	Order picken		
KIVA	Order picken		
TORU	Order picken	Geautomatiseerde Mobile transportvoertuigen	
Baxter	Inpakken	Trekker AGV	Transport
Yumi	Inpakken	Transfer AGV	Transport en order picken

3.1.2 Robot autonomie en mens-cobot samenwerking

Autonomie is een relatief begrip en altijd gedefinieerd in relatie tot de kenmerken van de omgeving¹⁷ of "gebruiker". Net als bij systems-of-systems, kan autonomie -tegelijkertijd- op verschillende abstractieniveaus beschreven worden.

Autonomie is een "state-of-being", wat een zekere mate van robuustheid ten opzichte van de

¹⁷Bradshaw, J. M., Feltovich, P. J., Jung, H., Kulkarni, S., Taysom, W., & Uszok, A. (2004). Dimensions of adjustable autonomy and mixed-initiative interaction. In M. Klusch & G. Weiss (Eds.), Agents and Computational Autonomy (Vol. 2969, pp. 17–39). Berlin/Heidelberg: Springer.

omgeving, onafhankelijkheid in acteren of functioneren en zelfbepaling van doelen en bronnentoe wijzing vereist¹⁸

Kenmerkend voor autonomie is dat (semi)autonome robots meer bewegingsvrijheden hebben, waardoor hun gedrag voor de buitenwereld moeilijker te beheersen is. De snelheid van handelen van de robot heeft ook invloed op de mogelijkheid van ingrijpen. Vertrouwen van de mens in de robot wordt dan een belangrijk aspect voor de samenwerking en is gebaseerd op beeldvorming en ervaring.^{19,20,21} Een onjuist hoog vertrouwen (“de robot ziet me wel”) kan tot risicovol gedrag leiden, terwijl een onjuist laag vertrouwen tot acceptatieproblemen kan leiden. Mensen zijn genegen om op basis van het uiterlijk en gedrag, menselijke eigenschappen aan robots toe te dichten.

Om de cobot over een zeker mate van autonomie te laten beschikken is het van belang om rekening te houden met de geprogrammeerde capaciteiten van de robot. De mate waarin de cobot autonoom functioneert wordt namelijk ook bepaald door de mate waarin een robot de omgeving kan waarnemen en kan plannen en handelen op basis van die omgeving, met weinig of geen externe controle²².

Een robot kan pas echt autonoom functioneren zodra alle benodigde capaciteiten om een activiteit veilig uit te voeren in een bepaalde omgeving in relatie tot zijn uit te voeren taken aanwezig zijn²³. Hoe omvangrijker de capaciteit van een robot, hoe autonomer de robot in principe moet kunnen bewegen en handelen in relatie tot zijn taken.

Mens-cobot interactie is gebaseerd op het optimaal inzetten van de capaciteiten van zowel de mens als de cobot, en de verdeeldheid daarbij tussen autonomie en afhankelijkheid (ofwel samenwerking). Autonomie zal dan plaatsvinden op deeltaken, maar er is nooit sprake van volledige autonomie.

¹⁸ Kaber, D. B. (2017). Issues in human-automation interaction modeling: Presumptive aspects of frameworks of types and levels of automation. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1555343417737203.

¹⁹ Schaefer, K. E., Billings, D. R., Szalma, J. L., Adams, J. K., Sanders, T. L., Chen, J. Y., & Hancock, P. A. (2014). A meta-analysis of factors influencing the development of trust in automation: Implications for human-robot interaction (No. ARL-TR-6984). ARMY RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD HUMAN RESEARCH AND ENGINEERING DIRECTORATE.

²⁰ Salem, M., Lakatos, G., Amirabdollahian, F., & Dautenhahn, K. (2015, March). Would you trust a (faulty) robot?: Effects of error, task type and personality on human-robot cooperation and trust. In Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (pp. 141-148). ACM.

²¹ de Visser, E. J., Pak, R., & Neerincx, M. A. (2017, March). Trust Development and Repair in Human-Robot Teams. In Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (pp. 103-104). ACM.

²² Beer, J. M., Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2012). Toward a psychological framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction. Technical Report HFA-TR-1204, Georgia Institute of Technology. <https://smartech.gatech.edu>.

²³ Johnson, M., Bradshaw, J. M., Feltovich, P. J., Van Riemsdijk, M. B., Jonker, C. M., & Sierhuis, M. (2014). Coactive design: Designing support for interdependence in joint activity. *Journal of Human-Robot Interaction*, 3 (1), 2014.

In dit geval is er dus sprake van wederzijdse afhankelijkheid, die als volgt wordt beschreven:

'Interdependence' describes the set of complementary relationships that two or more parties rely on to manage required (hard) or opportunistic (soft) dependencies in joint activity (Johnson en anderen, 2014).

Bijna alle robotsystemen hebben een bepaalde mate van autonomie, die varieert van een simpele beweging die de robot kan stoppen door sensorische waarneming, tot de mogelijkheid om zelfsturend te zijn in een complexe werkomgeving. Beer en anderen (2012) hebben een multidimensionaal model ontwikkeld voor autonomie waarin zij dit in relatie brengen tot de taak en mens-robot interactie aspecten. Hierin worden tien niveaus van robotautonomie gedefinieerd, van manueel naar volledig autonoom (LORA). De mate waarin de cobot autonoom kan waarnemen, plannen of handelen verschilt per taak. De mate waarin de cobot zelfstandig een taak (veilig) kan vervullen op basis van waarneming, planning of handelen, zegt iets over de mate van robotautonomie in mens-robot-interactie en is mede afhankelijk van zijn capaciteiten en werkomgeving.

3.1.3 Symbolische en subsymbolische AI

Bij het implementeren van cobots op de werkvloer is het belangrijk om na te gaan welke capaciteiten er voor de cobot nodig zijn om veilig te kunnen interacteren met de mens. Belangrijk is dat cognitieve cobots in real-time adaptief anticiperend gedrag vertonen op basis van een geobserveerde vastgestelde situatie en toekomstige omstandigheden (door de opgedane ervaringen in het verleden). Bij AI kan onderscheid worden gemaakt tussen symbolische AI (veelal logica gebaseerd, met expliciete kennisrepresentaties, wat de mogelijkheid biedt voor mens-robot 'shared mental model' and 'situation awareness') en subsymbolische AI (machine learning, wat meer een black box is voor de gebruiker). Bij machine learning is het relevant of het toegepast wordt at design time (in het ontwerp) of at run-time (operationeel op het moment).

'Machine learning' kan in (fysieke) interactie met de operator in een meer of minder gestructureerde werkomgeving tot onvoorspelbare gedragingen van de robot leiden. Bij machine learning kunnen er daarnaast onvolkomenheden optreden, doordat de huidige situatie afwijkt van de situatie waarop oorspronkelijk geleerd is (het geleerde model is niet toepasbaar op de huidige situatie). Een foute perceptie van de omgeving of een niet adequate response op ongeplande situaties waar de robot mee te maken krijgt en verkeerde redeneringen van de robot of fouten in de kennisrepresentatie van het systeem waarin de robot zich beweegt, kan dan leiden tot incidenten. Daarnaast kunnen software-componenten bugs bevatten, waardoor er risicovolle situaties ontstaan. Hierbij valt te denken aan het activeren van ongewilde beweging van de robot. De capaciteiten van de cobot worden daarbij bijvoorbeeld in 'de cloud' gedistribueerd. Dit heeft tot resultaat dat als één robot iets leert, alle robots hetzelfde kunnen (als ze in dezelfde situatie zitten).

Onderstaande cobotcapaciteiten hebben relatie met semantische AI en zijn in de interviews meegenomen om enerzijds de ontwikkeling van cobotsystemen in de interne logistiek vast te stellen en anderzijds te onderzoeken wat veiligheidseffecten kunnen zijn in relatie tot deze capaciteiten.

Onderstaande definities (behalve taakcomplexiteit en aanpassingsvermogen) zijn direct ontleend aan de MAR (2017)^{24 25} en geven een beter begrip van diverse cobotcapaciteiten. De cobotcapaciteiten zijn kenmerkend voor de cobot maar zijn niet op hetzelfde niveau van de mens ontwikkeld en niet geheel vergelijkbaar. Zo zou een cobot met een camera ook s' nachts kunnen waarnemen terwijl wij mensen dat niet kunnen. Ook kan de cobot meer data in zeer korte tijd verwerken dan de mens dat kan. De mens is echter weer in staat om emoties te voelen, wat de mens van nature beter maakt om te anticiperen op emoties. Onderstaande capaciteiten geven een indruk van de mate waarin AI in de cobot aanwezig is.

Perceptie:

Perceptie is het vermogen van de robot om zijn omgeving waar te nemen. Op het eenvoudigste niveau gaat dit om het specificeren van de kans op nauwkeurige detectie van objecten, ruimten, locaties of items van interesse in de omgeving van het systeem. Het omvat de mogelijkheid om de beweging van een robotarm te detecteren, de mogelijkheid om informatie te interpreteren en om geïnformeerde en accurate representaties te maken over zijn omgeving op basis van zintuiglijke gegevens.

Herkennen:

Veel robotapplicaties vereisen de robot om objecten in hun omgeving te herkennen. Het vermogen kan variëren van het herkennen van een enkel object, of veel verschillende objecten tot objecten identificeren die passen bij een generiek patroon, waarmee tevens onderscheid in mensen kan worden gemaakt.

Voorspellen:

Voorspellen is het vermogen van het robotsysteem om de impact van eigen acties en acties in de omgeving (in de toekomst) in te schatten. Zo kan de cobot veiligheidsprestaties kwantificeren en botsingen tijdig detecteren en erop anticiperen. Voorspellingen zullen gebaseerd zijn op verschillende soorten samenwerkingsvormen en kunnen daardoor verschillende niveaus van robotintelligentie vereisen. Voorspellen hangt af van:

Mens-detectie en -volgtechnieken, en algoritmes of technieken voor het voorspellen van bewegingen, veranderende omstandigheden en het effect daarvan en de uit te voeren acties. Het robotsysteem is dan in staat om gedrag aan te passen om een taak alsnog uit te voeren. Cognitie (interpretatie van 'zintuiglijke waarneming') is daarbij een proces dat een cobot het vermogen biedt om te begrijpen hoe iets zich mogelijk zou kunnen voltrekken, op basis van slechts gedeeltelijk beschikbare kennis. Dit kan op een actueel moment of een bepaald moment in de toekomst. Vervolgens kan de cobot zijn gedag bijstellen. Om de toekomst te voorspellen moet de cobot onthouden, waardoor leren cruciaal is voor alle cognitieve systemen. Cognitie bepaalt de mate waarin de cobot kan voorspellen, en waarmee het systeem zich proactief, betrouwbaar kan handhaven, aanpassen en verbeteren. Het omvat ook de capaciteit van het modelleren van situatie- actie- reactie, om gedragingen te voorspellen. Leren en cognitief functioneren van de cobot zou vooral

²⁴ Robotics 2020: Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe, Horizon 2020 Call ICT-2017 (ICT-25, ICT-27 & ICT-28), 2017.

²⁵ Thrun, S. (2003). Learning occupancy grid maps with forward sensor models. *Autonomous robots*, 15(2), 111-127.

belangrijk zijn om te kunnen reageren op veranderende omgevingsfactoren, die mens robot interactie beïnvloeden²⁶

Mens-robot interactie en interactieveiligheid

Interactie is de mogelijkheid van het systeem om fysiek, cognitief en sociaal te interacteren met gebruikers of andere systemen, waaronder robots. De mogelijkheid om te interacteren kan variëren van een communicatieprotocol tot een geavanceerd sociaal gesprek. Deze vaardigheid is cruciaal en afhankelijk van medium en context. Interactie gebeurt op verschillende niveaus; fysiek, cognitief en sociaal.

Gemeenschappelijk voor alle toepassingen is de betrouwbare en veilige interactie, tussen mens en robot in een gedeelde werkruimte. Dergelijke robots moeten zorgvuldig worden ontworpen voor menselijke verenigbaarheid op de lange termijn. Robots moeten redeneren, leren en handelen in nauw contact met mensen. Ook moet de robot hem daarin veilig laten voelen. Hoewel de technologie zich richt op specifieke veiligheidsmechanismen, blijft het gehele systeem in zijn gehele context, bepalend voor de veiligheid om een bepaalde taak uit te voeren. Veiligheid kan daarin geïntegreerd worden op verschillende niveaus.

Beslissingsautonomie

Beslissingsautonomie is de eigenschap van de cobot om autonoom te handelen. Bijna alle systemen hebben een mate van autonomie, die varieert van een simpele beweging die gestopt kan worden door sensorische waarneming, tot de mogelijkheid om (met matrices) zelfefficiënt te zijn in een complexe omgeving. Met het vergroten van complexiteit en risico's in de werkomgeving, is voorsnog de mate van autonomie en automatisering beperkt.

Transparantie en feedback

Beer en anderen (2012) noemen naast intelligentie, leren en betrouwbaarheid ook transparantie en feedback over status en intenties van de robot als belangrijke factor, die van invloed is op mens-robot interactie. Behalve bovengenoemde robotcapaciteiten dient de cobot in staat te zijn om een mentale voorstelling te creëren van zijn intenties voor de gebruiker. Volgens Stubbs en anderen²⁷ ontstaat hierdoor transparantie bij de gebruiker. Ook keken ze naar deze menselijke factoren in relatie tot waarneming, plannen en handelen, waar in paragraaf 3.2.5 verder op wordt ingegaan.

3.2 Kennisvraag 2

In deze paragraaf is informatie opgenomen in relatie tot kennisvraag 2:

Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen en wat zijn beheersmaatregelen?

²⁶ Bekey, G. A. (2005). *Autonomous robots: from biological inspiration to implementation and control*. MIT press.

²⁷ Stubbs, K., Hinds, P., & Wettergreen, D. (2007). *Autonomy and common ground in human-robot interaction: A field study*. *IEEE Intelligent Systems: Special Issue on Interacting with Autonomy*, 22(2), 42-50. doi: 10.1109/MIS.2007.21

3.2.1 Risico's voor mens-cobot-omgeving interactie

In relatie tot mens-cobot-omgeving interactie kunnen er drie risicogroepen gedefinieerd worden. Risico's met betrekking tot de cobot (deze zijn vaak te herleiden tot ontwerp en software programmering), de mens en de werkomgeving.

In onderstaande alinea's en paragrafen wordt hierop ingegaan.

Cobotrisico's

Machine learning (sub-semantisch AI) kan in (fysieke) interactie met de operator in een meer of minder gestructureerde werkomgeving tot onvoorspelbare gedragingen van de robot leiden.

Bij machine learning kunnen er vooral risico's ontstaan, doordat de huidige situatie afwijkt van de situatie waarop oorspronkelijk geleerd is (het geleerde model is niet toepasbaar op de huidige situatie). Een foute perceptie van de omgeving of een niet adequate response op ongeplande situaties waar de robot mee te maken krijgt en verkeerde redeneringen van de robot of fouten in de kennisrepresentatie van het systeem waarin de robot zich beweegt, kan dan leiden tot incidenten. Daarnaast kunnen software-componenten bugs bevatten, waardoor er risicovolle situaties ontstaan. Hierbij valt te denken aan het activeren van ongewilde beweging van de robot.

Beveiligingsrisico's

Naast de risico's voor machine learning is er ook nog het risico van eventuele 'beveiligingsbreuken en intrusies' van buitenaf als gevolg van internetkoppelingen die de robot heeft, waardoor de integriteit van de softwareprogrammering aangetast kan worden. Juist dit soort risico's zullen op termijn toenemen vanwege een toename van AI in de software. Softwarerisico's zullen daarom tot een aanvaardbaar risico moeten worden gereduceerd, door bij de beheersing ervan middelen in te zetten die potentieel gevaarlijke fouten voorkomen. Voor meer informatie wordt verwezen naar het TNO rapport uit 2016 waarin reeds dieper is ingegaan op de risico's voor cybersecurity van de robot.

Omgevingsrisico's

De risico's van software componenten kunnen ook veroorzaakt worden door onzekerheden in de werkomgeving waar de robot aan bloot wordt gesteld (bijv. sensor degradatie, onverwacht menselijk handelen, inzet van de robot in ongestructureerde omgevingen als bouwplaatsen of nieuw geconfigureerde fabricagelijnen).

3.2.2 Bestaande richtlijnen voor risico-identificatie en analyse voor het veilig ontwerpen van cobots²⁸

Om de risico's in het veilige ontwerp van de cobot te beheersen zijn er diverse richtlijnen ontwikkeld. Deze richtlijnen leveren een belangrijke bijdrage aan het inherent veilige ontwerp van cobots. Zo is ISO TS 15066 is een technische specificatie hoe veilige collaboratieve robots kunnen worden ontworpen.

Eerder uitgevaardigde normen die relevant waren op dit gebied zijn integraal onderdeel van deze nieuwe norm geworden (o.a. ISO 10218-1:2011 en ISO 10218-2:2011 (t.a.v. industriële

²⁸ Robotics 2020: Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe, Horizon 2020 Call ICT-2017 (ICT-25, ICT-27 & ICT-28), 2017

robots); ISO 12100 (Machineveiligheid), etc.) en mogen niet meer los van deze norm worden gezien. In dat verband wordt in de ISO 15066 verwezen naar deze normen.

Om de risico's voor de toepassing van de cobot in processen met bijhorende taken vast te stellen wordt in de ISO TS 15066 norm tevens gewezen op het doen van een uitgebreide risico-identificatie en -analyse (RI&E) van de mens-robot operatie op basis van de principes in ISO 10218-2:2011. De indeling voor de risico-identificatie en risico reducerende maatregelen moet gehaald worden uit ISO 10218-2:2011 Annex A en ISO 12100.

Cobotproducenten, ontwikkelaars en systeemintegratoren dienen specifieke (proces)gevaars die ontstaan op basis van de gezamenlijke mens-robot werkzaamheden en de onderling verdeelde taken daarin (bijv. lassen en assembleren) en de potentiële consequenties voor de veiligheid van de operator daarbij separaat te inventariseren.

3.2.3 Technische ontwerpvoorwaarden voor collaboratieve robots

Een collaboratieve robotapplicatie moet met inachtneming van vooraf bepaalde taken worden ontworpen volgens de speciale eisen voor aansturing van collaboratieve robots (EN ISO 10218-1). De systeemintegrator moet daarnaast voor de gehele applicatie een risicobeoordeling uitvoeren met inachtneming van de volgende aspecten:

- Cobotkarakteristieken (snelheid, kracht, koppel etc.);
- Tooling- en werkstukrisico's (scherpe randen, uitsteeksels, bewegende delen, massa etc.);
- Vormgeving van de applicatie;
- Locatie van de operator ten opzichte van de robot (bijvoorbeeld geen werkzaamheden onder de robotarm);
- Locatie van de operator ten opzichte bewegende delen, beugels, klemmen en eventuele vaste voorwerpen in de omgeving (andere machines, muren, verankeringen etc.);
- Werkstukbehandeling en gerelateerde gevaren (klemontwerp en plaatsing klemmen);
- Ontwerp en locatie van eventuele handgeleidingsapparatuur;
- Risico's door de specifieke applicatie (hoge temperaturen, lasvonken etc.);
- Beperkingen van de operator door eventueel gebruik van persoon beschermende middelen (PBM);
- Omgevingsomstandigheden (straling, etc.);
- Afschermings- en beveiligingsapparatuur moeten ervoor zorgen dat gebruikers/personen niet in het non-collaboratieve gebied kunnen komen. Als dat wel gebeurt, moet dit worden gedetecteerd met een veiligheidsstop tot gevolg. Afschermingen moeten hierbij voldoen aan de EN 13857.

Sensing

Om fysieke veiligheidsbarrières weg te nemen en de cobot-mens interactie te vergemakkelijken worden onder meer lichtgordijnen en lichtroosters (IEC 61496-2); laser scanners (IEC 61496-3) en veiligheidscamera's (IEC 61496-4) toegepast.

In de toekomst (bij geavanceerdere systemen) zal gezocht worden naar innovatieve oplossingen als electrogevoelige beschermende uitrusting, voor het detecteren van persoon of voertuig. Indien beveiligingsapparatuur wordt gebruikt voor het detecteren van personen, moet deze apparatuur voldoen aan de eisen van de ISO 13856 voor drukgevoelig detectieapparatuur (PSPE) of aan de IEC 61496 voor aanrakingsvrije detectieapparatuur (ESPE).

Zonering

In een recente update van de industriële robot veiligheidsnorm (ISO10218-1 en ISO 10218-2) is een samenwerkingsmodus geïntroduceerd. Voor samenwerking met cobots in een daarvoor gedefinieerde werkruimte zijn ISO 13854, ISO 13855 en ISO 13857 belangrijke referentiedocumenten. Voorbeelden van vereiste toepassingen in de werkomgeving zijn:

- Het collaboratieve gebied moet zodanig zijn ontworpen dat de operator gemakkelijk alle taken kan uitvoeren, zonder enig risico op klemmen, snijden, steken, etc. Ook de positie van apparatuur en/of machines moet zodanig zijn dat er geen nieuwe gevaren kunnen ontstaan.
- Veilige asbewaking/-limitering, moet indien mogelijk worden toegepast om zo het aantal vrijheidsgraden te beperken.
- EN 349 voor minimumafstanden tussen mens en robot, die beknelling tussen lichaamsdelen en de robot moeten voorkomen. Uiterste grenzen (cobot, tooling en werkstuk) en gebouw-constructies, machines etc. moeten daarbij in acht worden genomen, indien hier gevaren kunnen ontstaan. Indien deze afstanden niet kunnen worden nageleefd zijn extra beveiligingsmethoden noodzakelijk.
- Het gebied, bedoeld voor het collaboratieve gebruik moet duidelijk gedefinieerd en gemarkeerd zijn. Het wordt bewaakt door een combinatie van de roboteigenschappen en de beveiligingsapparatuur. Deze beveiliging beschermt alle personen die te maken hebben met het collaboratieve gebruik.
- Aanvullende gebieds- en inloopbeveiligingen kunnen nodig zijn indien de risicobeoordeling aangeeft dat andere personen toegang kunnen hebben tot het collaboratieve gebied en kunnen worden blootgesteld aan de gevaren van de robotapplicatie.

Krachtbegrenzing en voorkomen van lichamelijk letsel bij contact.

Biomechanische criteria voor krachtbegrenzing voor collaboratieve industriële robots zijn opgenomen in ISO 10218-1, sectie 5.10.5. Zonder afscherming en/of beveiligingsapparatuur moet in het ontwerp worden voldaan aan essentiële veiligheids- en gezondheidseisen voor intrinsieke veiligheid:

- De maximumkracht en -energie moeten worden gelimiteerd tot een niveau waarop geen verwondingen redelijkerwijs mogelijk zijn (zie ISO 12100).
- De cobot zelf, het gereedschap, het werkstuk en eventueel andere delen van de applicatie mogen nooit risico's veroorzaken voor bijvoorbeeld klemmen, snijden, steken, heet oppervlak, aanraakbare elektrische onderdelen, etc.
- Meerdere contactmomenten mogen niet leiden tot verwondingen en/of gezondheidsschade (denk bijvoorbeeld aan bescherming van de luchtwegen door schadelijke stoffen).

Volgens de EN ISO10218-1 en de EN ISO 10218-2 zijn er verschillende manieren om een collaboratieve robot aan te sturen:

Snelheid en positiebewaking

De cobot blijft op een vooraf bepaalde snelheid en afstand van de operator. De functies worden bewaakt door een veilige detectie van de positie van de operator en de robot, alsmede door de snelheid. Fouten in de bewaking moeten leiden tot een veilige stop. De relatieve snelheid van de operator en de cobot moeten in acht worden genomen bij het bepalen van de minimale veiligheidsafstanden volgens EN ISO 13855.

Safety-rated Monitored Stop

De cobot stopt en blijft stilstaan zolang een mens in het collaboratieve werkgebied komt. De robot mag automatisch opstarten, zodra de persoon het werkgebied heeft verlaten. De cobot stopt volgens een aantal geprogrammeerde stop categorieën volgens EN 60204-1 (0, 1 of 2). Eenmaal gestopt moet de stilstand bewaakt worden door het veiligheidsbesturingssysteem. Fouten in de stilstand detectie leiden tot een categorie 0-stop (spanningsloosheid) volgens ISO 10218 – 1.

Manuele aansturing

De cobot zal met gelimiteerde snelheid (<250 mm/s) via een handgeleiding door een operator worden voortbewogen. De handgeleiding is voorzien van een noodstopknop en 'hold-to-run' functie, en moet dicht bij de 'grijper' zijn geplaatst. De gereduceerde snelheid moet worden bewaakt door het veiligheidsbesturings-systeem en de waarde van de maximale snelheid moet worden bepaald in de risicobeoordeling van de applicatie. Fouten in de snelheidsbewaking leiden tot een veiligheidsstop.

Mensgericht ontwerpen van interactieve systemen

Cobots zijn interactieve systemen die volgens de "human-centred design" standaarden ontwikkeld moeten worden. ISO 9241-210 beschrijft de methodes en criteria om tijdens ontwerp, test en implementatie op een adequate wijze rekening te houden met de gebruiksvriendelijkheid (het mensgerichte ontwerp), context van het gebruik, gebruikerservaring en waarden van de gebruiker.

3.2.4 **Samenvattend overzicht van richtlijnen en standaarden voor het ontwerpen en ontwikkelen van veilige cobots**

In onderstaande tabel 4 is additioneel aan bovengenoemde technische en collectieve risicobeheersmaatregelen een lijst toegevoegd met relevante standaarden die Michalos en anderen (2015)²⁹ geïnventariseerd hebben.

Tabel 4. Lijst met standaarden gerelateerd aan cobots (Michalos en anderen, 2015)

EU Richtlijnen	Indicatieve algemene standaarden
2006/42/EC Machinery Directive (MD)	EN ISO 12100 Safety of machinery - General principles for design – Risk assessment and risk reduction
2009/104/EC Use of Work equipment Directive	2004/108/EC Electromagnetic compatibility Directive (EMC)
89/654/EC Workplace Directive	EN ISO13849-1/2 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems Part 1: General principles for design Part 2: Validation
2001/95/EC Product Safety Directive	EN 60204-1 Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements
2006/95/EC Low Voltage Directive (LVD)	

²⁹ Michalos, G., Makris, S., Tsarouchi, P., Guasch, T., Kontovrakis, D., & Chryssolouris, G. (2015). Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces. *Procedia CirP*, 37, 248-253.

EU Richtlijnen	Indicatieve algemene standaarden
Robot standaarden	Indicatieve algemene standaarden
EN ISO 10218-1 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots	EN ISO 12100 Safety of machinery - General principles for design – Risk assessment and risk reduction
EN ISO 10218-2 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration	IEC 62061 Safety of machinery –Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems ISO 9241-210 (2010) Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centered design for interaction systems
ISO/PDTS 15066 Robots and robotic Devices – Collaborative Robots	

3.2.5 Welke arbeidsrisicofactoren spelen mee bij mens-cobot interactie?

Behalve de in bovenstaande paragrafen beschreven technische ontwerpvoorwaarden van de cobot zijn er ook een aantal arbeidsfactoren die mede bepalend zijn voor welbevinden van de medewerker en zijn veiligheidsgedrag in bepaalde werksituaties. De uit de literatuur herleide factoren worden in deze paragraaf opgesomd.

Fysieke belastbaarheid, cognitieve belastbaarheid en arbeidstevredenheid

Interactieveilgheid komt tot stand door effectieve interactie tussen mens en robot, robuust veilig ontwerp en normering. Menselijke factoren die daarbij centraal staan zijn onder meer: *fysieke belasting, cognitieve belasting en arbeidstevredenheid*.³⁰ Parasuraman, Sheridan, en Wickens (2008, pp. 145-146)³¹ definiëren cognitieve belasting als: “*the relation between the function relating the mental resources demanded by a task and those resources available to be supplied by the human operator*”. Een hoge mate van autonomie van de robot in combinatie met een lage mentale werkbelasting kan leiden tot verveling³², terwijl een lage autonomie in combinatie met een hoge mentale werkbelasting, zou kunnen leiden tot lager situatiewustzijn en verminderde prestaties³³. Volgens Tsang en Vidulich (2006) is er ook een verband tussen mentale belasting en het situatiewustzijn. Situatiewustzijn wordt in de volgende paragraaf besproken.

Situatiewustzijn

Endsley, (1995, p36)³⁴ beschrijft *situatiewustzijn* als: *the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and*

³⁰ RAAK PRO AANVRAAG (2014): HARRIE: Human Aware Robust Robotics Interacting Effectively

³¹ Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2008). Situation awareness, mental workload, and trust in automation: Viable, empirically supported cognitive engineering constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2), 140-160. doi: 10.1518/155534308X284417

³² Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37(2), 381-394. doi: 10.1518/00187209577906455

³³ Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42(3), 462-492. doi: 10.1080/00140139918559

³⁴ Endsley, M. R. (2006). Situation awareness. In G. Savendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (3rd ed.), pp. 528-542. New York, NY: Wiley.

the projection of their status in the near future. Waarneming en interpretatie van omgevingsfactoren zijn dus van belang om zich bewust te zijn van de werkomgeving. In relatie tot samenwerking met de cobot is het van belang om situatiebewustzijn van mensen te vergroten. Er bestaan kansen om in een usecase te onderzoeken in hoeverre de cobot de mens helpt om zijn situatiebewustzijn in relatie tot veiligheidsrisico's te vergroten.

Vertrouwen, acceptatie en tevredenheid

Vertrouwen van de mens in de cobot is gebaseerd op beeldvorming en ervaring. Een onjuist hoog vertrouwen ("de cobot ziet me wel") kan tot risicovol gedrag leiden, terwijl een onjuist laag vertrouwen tot acceptatieproblemen kan leiden. Bovendien zijn mensen genegen om op basis van het uiterlijk en gedrag, menselijke eigenschappen aan robots toe te dichten.³⁵

Banh en anderen (2015)³⁶ toonde met hun onderzoek aan dat de mening van medewerkers over de robotcapaciteiten (vertrouwen, indruk van intelligentie, etc.) veranderde op basis van het gedrag van de robot bij het beoordelen van hun werk. Het belang van vertrouwen en acceptatie van de robot daarbij is in meerdere studies al aangetoond^{37 38} Het vertrouwen in de robot blijkt bovendien een belangrijke factor in de beslissingen die mensen nemen in risicovolle situaties³⁹.

Recent is een artikel verschenen die een raamwerk biedt om vertrouwen in automatisering te managen⁴⁰. Ook zijn hiervoor eerder raamwerken voor vertrouwen ontwikkeld^{41 42}

⁴³. Volgens Beer en anderen (2012) is inzicht in het ontwikkelen van vertrouwen van cruciaal belang voor het ontwerpen van robots die als sociale partners moeten worden beschouwd. Robots als collega's worden namelijk niet zondermeer geaccepteerd⁴⁴. Verder onderzoek

³⁵ Waytz, A., Heafner, J., & Epley, N. (2014). The mind in the machine: Anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle. *Journal of Experimental Social Psychology*, 52, 113-117.

³⁶ Banh, A., Rea, D. J., Young, J. E., & Sharlin, E. (2015, October). Inspector Baxter: The Social Aspects of Integrating a Robot as a Quality Inspector in an Assembly Line. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Human-Agent Interaction* (pp. 19-26). ACM.

³⁷ Desai, M., Kaniarasu, P., Medvedev, M., Steinfeld, A., & Yanco (2013). Impact of robot failures and feedback on real-time trust. In *Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Human-Robot Interaction*, 251-258. Tokyo, Japan. doi: 10.1109/HRI.2013.6483596

³⁸ Desai, M., Medvedev, M., Vazquez, M., McSheehy, S., Gadea-Omelchenko, S., Bruggeman, C., Steinfeld, A., & Yanco, H. (2012). Effects of changing reliability on trust of robot systems. In *Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Human-Robot Interaction*, 73-80. doi: 10.1145/2157689.2157702.

³⁹ Park, E., Jenkins, Q., & Jiang, X. (2008). Measuring trust of human operators in new generation rescue robots. In *Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid power* (Vol. 2008, No. 7-2, pp. 489-492). The Japan Fluid Power System Society.

⁴⁰ Metcalfe et al. (2017) Building a framework to manage trust in automation, *Proceedings Volume 10194, Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications IX*

⁴¹ Desai, M., Stubbs, K., Steinfeld, A., & Yanco, H. (2009). Creating trustworthy robots: Lessons and inspirations from automated systems. In *Proceedings of the Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour (AISB) Convention, New Frontiers in Human-Robot Interaction*.

⁴² Hancock, P. A., Billings, D. R., & Schaefer, K. E. (2011). Can you trust your robot? *Ergonomics in Design*, 19(3), 24-29. doi: 10.1177/1064804611415045.

⁴³ Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y., De Visser, E. J., & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors*, 53(5), 517-527.

⁴⁴ Dewar, R. D., & Dutton, J. E. (1996). The adoption of radical and incremental innovations—An empirical- analysis. *Management Science*, 32(11), 1422-1433.

om variabelen voor acceptatie van robots te begrijpen en te modelleren (in relatie tot hun mate van autonomie) is daarom volgens de auteurs nodig.

Ook teamwork kan bijdragen aan de veiligheid van robotsystemen. Zodra robots hoge autonome eigenschappen krijgen, zouden ze meer als teamspelers waargenomen kunnen worden^{45 46}. Volgens Lohani en anderen (2016)⁴⁷ bestaat een mens-robot teamsamenstelling uit twee of meer deelnemers die een specifieke rol of functie zijn toebedeeld, die dynamisch interacteren en een gemeentenschappelijk doel nastreven. Voor de mens-robot interacties zijn daarbij de vaardigheden *rapporteren, communicatie, samenwerking, coördinatie en teammanagement* van belang. In systematische reviews, blijken de niet technische factoren in de studie van Hancock (2011) een gemiddeld tot groot effect te hebben op het vertrouwen in de robot. Ontwerpprincipes die situatiebewustzijn in mens-robot teams stimuleren^{48 49} zouden eveneens getest en toegepast kunnen worden.

Beer en anderen (2012) beschrijven dat robotautonomie met beslissingsondersteuning (waarbij de gebruiker de eindbeslissing neemt) wenselijk kan zijn in situaties waarin het belangrijk is om de juiste besluitvorming aan de mens over te laten. Sycara en Sukthankar⁵⁰ beschrijven de rollen die de samenwerkende robots kunnen vervullen en tevens een aantal andere belangrijke eigenschappen van mens- robot interactie, als teamkennis, wederzijdse voorspelbaarheid en gezamenlijke aanpassing.

Affect/ Socio-emotionele vaardigheden

Lohani en anderen (2016) stellen dat sociaal emotionele vaardigheden als een bindingmechanisme kunnen dienen voor teams, omdat ze het vertrouwen van deelnemers zouden vergroten. De menselijkheid of vriendelijkheid van de robot wordt dan een interessant aspect die invloed kan hebben op de houding en mate van aanpassing van de medewerker. In vergelijking tot robots die enkel informatie gaven aan het team, vergroten sociaal emotioneel vaardige robots de mogelijkheid van medewerkers om met stress om te gaan en stimuleerde zij ook de fysiologische sensoren van de robots te accepteren.

Volgens Breazeal (2003)⁵¹ moeten robots zich aanpassen aan de sociale vaardigheden die mensen van robots verwachten en zou dit in relatie tot hun autonomie moeten worden onderzocht. Sociale interactie met autonome robots kan het best worden onderzocht op basis van hun sociale kenmerken, zoals; uiterlijk, emotie en persoonlijkheid (zie ook

⁴⁵ Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human-robot interaction: A survey. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 1(3), 203-275. doi: 10.1561/1100000005.

⁴⁶ Milgram, P., Rastogi, A., & Grodski, J. J. (1995). Telerobotic control using augmented reality. *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, 21-29. Tokyo, Japan. doi : 10.1109/ROMAN.1995.531930.

⁴⁷ Lahoni et al (2016) Social interaction moderates human-robot trust-reliance relationship and improves stress coping.

⁴⁸ Endsley, M. R., Bolte, B., & Jones, D. G. (2003). *Designing for situation awareness: An approach to human-centered design*. London: Taylor & Francis.

⁴⁹ Gorman, J. C., Cook, N. J., & Winner, J. L. (2006). Measuring team situation awareness in decentralized command and control environments. *Ergonomics*, 49(12-13), 1312-1325. doi: 10.1080/00140130600612788

⁵⁰ Sycara, K., & Sukthankar, G. (2006). *Literature Review of Teamwork Models*. Pittsburgh, PA: Tech. Report CMU-RI-TR-06-50, Robotics Institute, Carnegie Mellon University.

⁵¹ Breazeal, C. (2003). Emotion and sociable humanoid robots. *International Journal of Human Computer Interaction*, 59, 119-115. doi: 10.1016/S1071-5819(03)00018-1

Breazeal, 2003).⁵² Ook in relatie tot autonome systemen in de interne logistiek zouden dit aspecten kunnen zijn die meegenomen zouden kunnen worden in afweging voor het industriële ontwerp.

Mens-Robot Interactie ervaring/ training

Wurhofer en anderen (2015)⁵³ interviewde tien medewerkers om te onderzoeken hoe zij over tijd de meerwaarde van de robot, werk organisatie, gevoelens, sociale omgeving en attitudes evalueerden. Hiermee deden zij belangrijk onderzoek naar medewerker ervaringen in de implementatie van robots. Een betere perceptie van de robot zou resulteren in een betere samenwerking tussen mens en robot. Het vroegtijdig geven van goede uitgebreide training zodat er een goed begrip ontstaat van de robot zou daarbij cruciaal zijn voor de samenwerking. Uit hun onderzoek bleek dat bekendheid met de robot resulteerde in een aantal positieve veranderingen (waaronder kennisontwikkeling en zelfontplooiing), terwijl men eerder vooral sceptisch en onzeker was over het samenwerkingspotentieel. Slechte voorbereiding op de introductie van de robot op de werkvloer resulteerde niet alleen in complexiteit van taken, maar ook in een aantal affectieve reacties, zoals angst voor ontslag en pestgedrag.

3.2.6 **Co-active design', als uitgangspunt voor veilig Mens-robot-interactie ontwerpen**

De HRI onderzoekers Johnson en anderen (2014), stellen dat het interactie-ontwerp, dat zij 'coactive design' noemen gezamenlijke activiteiten van mens en robot mogelijk moeten maken. Hierbij onderscheiden zij 'harde afhankelijkheden', die noodzakelijk zijn om een taak samen te volbrengen en 'zachte afhankelijkheden', die kansen bieden om gezamenlijke activiteiten uit te voeren. In het 'Coactive System Model' (figuur 2) is te zien hoe capaciteiten verband houden met waarneming, planning, beslissen en handelen tijdens robot-mens interactie. Mensen plannen hun gedrag op basis van eigen overtuigingen, intenties, behoeftes, kennis en ervaring, terwijl robots het plan uitvoeren zoals dat bij een bepaalde waarneming volgt op basis van software of AI algoritmen. Daarom moet er tijdens de samenwerking een gemeenschappelijke representatie zijn van waarneming, planning (voorspellen), beslissen en handelen (sturen). Hierdoor wordt het mogelijk om in samenwerkingsverband (als bij cobots en deels bij coöperatieve systemen) functies van mens en robot goed op elkaar af te stemmen. (Clark's participatory actions⁵⁴ en Fong's systeem model⁵⁵). Onderstaand een uitwerking van bovenstaande in termen van waarnemen voorspellen en sturen:

- *Waarnemen*: Clusteren van relevante aspecten over iemands status, kennis van het team, taak en de omgeving die waarneembaar is door anderen.
- *Voorspellen*: Acties zouden voorspelbaar moeten zijn, zodat anderen daarop kunnen vertrouwen bij het afwegen van hun eigen acties.

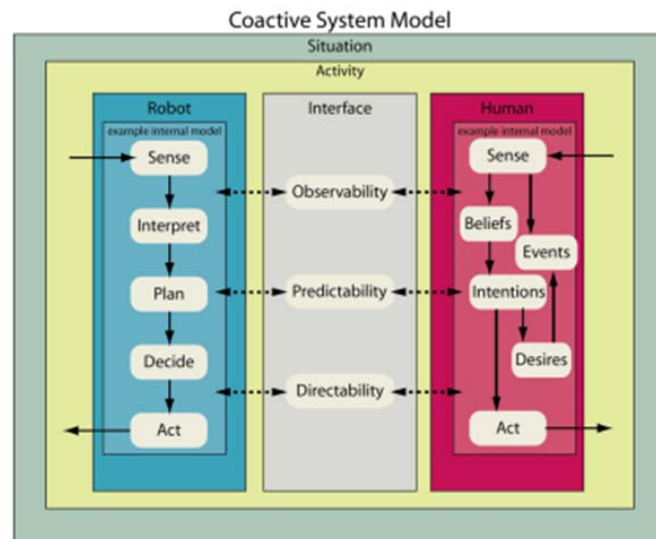
⁵² Steinfeld, A., Fong, T., Kaber, D., Lewis, M., Scholtz, J., Schultz, A., & Goodrich, M. (2006). Common metrics for human-robot interaction. In Proceedings of Human-Robot Interaction Conference, 33-40. Salt Lake City, Utah. doi: 10.1145/1121241.1121249

⁵³ Wurhofer, D., Meneweger, T., Fuchsberger, V., & Tscheligi, M. (2015). Deploying robots in a production environment: A study on temporal transitions of workers' experiences. In *Human-Computer Interaction* (pp. 203-220). Springer, Cham.

⁵⁴ Clark, Herbert H. (1996). *Using language*. New York, NY: Cambridge University Press. Retrieved from <http://www.loc.gov/catdir/toc/cam023/95038401.html>

⁵⁵ Fong, T. W. (2001). *Collaborative control: A robot-centric model for vehicle teleoperation*. Pittsburgh, PA: Robotics Institute, Carnegie Mellon University.

- *Sturen*: De vaardigheid om gedrag te sturen en complementair hieraan gestuurd te worden door anderen.



Figuur 2: Coactive system model

Taak complexiteit:

Leva en anderen (2017)⁵⁶ beschouwen taakcomplexiteit als de som van fysieke en mentale inspanning om een gegeven taak uit te voeren. De complexiteit is afhankelijk van de omgeving alsmede de cognitieve capaciteiten, vaardigheden, training en ervaring. Zij baseren hun definitie op het prestatiemodel van Rasch (1980)⁵⁷.

Aanpassingsvermogen (zelfsturing vs. samenwerking)

De mate van zelfsturing vs. samenwerken is de operationalisering van mate van autonomie tegenover afhankelijkheid. Volgens Johnson en anderen (2014)⁵⁸ is de capaciteit van de cobot de totale set van inherent aanwezige kennis, vaardigheden, capaciteiten en middelen, die een cobot nodig heeft om zelfstandig een activiteit te volbrengen. Volgens Bradshaw en anderen (2004) worden de capaciteitsaspecten die nodig zijn, bepaald door de robot-omgeving interactievereisten, die geassocieerd kan worden met de dimensie van autonomie. Als capaciteiten ontbreken zal de afhankelijkheid in een gegeven context toenemen. Een cobot functioneert onafhankelijk als alle benodigde capaciteiten om competent een activiteit (veilig) uit te voeren aanwezig zijn.

In onderstaande figuur 2 zijn de in paragraaf 3.2 en 3.3 beschreven variabelen voor Mens-Robot-Omgeving-Interactie opgenomen. Zoals eerder beschreven is voor het vaststellen van de robotvariabelen met name de MAR een belangrijk uitgangsdokument geweest.

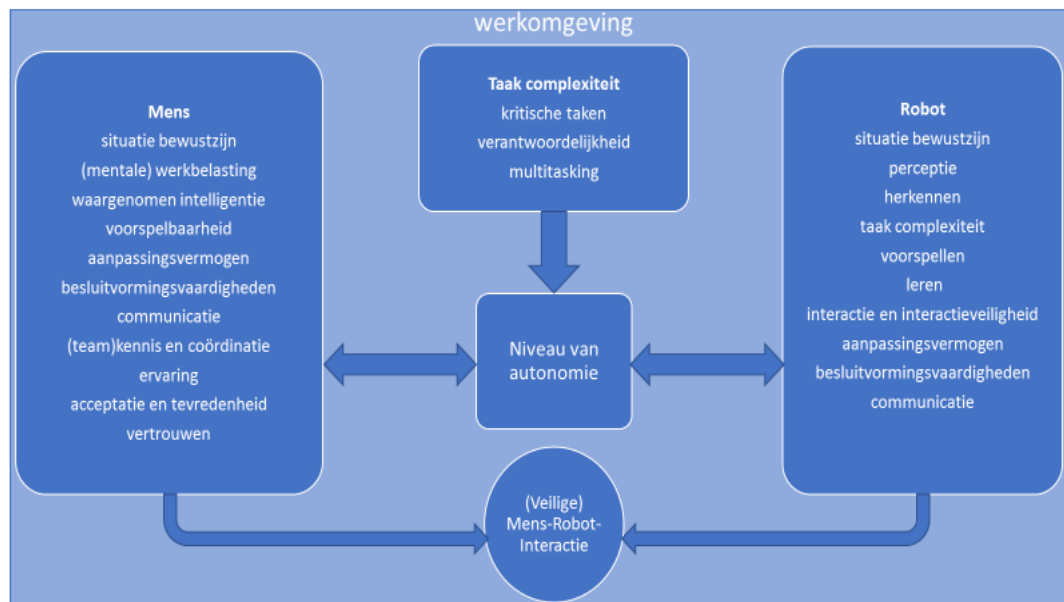
⁵⁶ Leva, M. C., Comberti, L., Demichela, M., & Duane, R. (2017). Human Performance Modelling in Manufacturing: Mental Workload and Task Complexity.

⁵⁷ Rasch G. 1980 Probabilistic Model for some Intelligence and Attainment Tests. University of Chicago Press. Chicago.

⁵⁸ Bradshaw, J. M., Feltovich, P. J., Jung, H., Kulkarni, S., Taysom, W., & Uszok, A. (2004). Dimensions of adjustable autonomy and mixed-initiative interaction. In M. Klusch & G. Weiss (Eds.), *Agents and Computational Autonomy* (Vol. 2969, pp. 17–39). Berlin/Heidelberg: Springer.

De interactie-variabelen geven een indruk van factoren die veilige mens-robot interactie op de werkvloer beïnvloeden.

De 'mensvariabelen' zijn vooral afkomstig uit paragraaf 3.5.2. De variabelen als opgenomen in de tabel vormen de basis van het Mens-Robot-Omgeving Interactie Model dat in figuur 3 is weergegeven. In de figuur is te zien dat taakcomplexiteit en capaciteiten van de robot en autonomie elkaar beïnvloeden. Per taak kan de autonomie en de benodigde robotcapaciteiten anders zijn. Tenslotte is de omgeving waarin de mens-robot interactie afspeelt een belangrijke factor die meespeelt bij een veilige interactie tussen mens en robot. Vandaar het kader met werkomgeving waarin het model is opgenomen. Het model dat op basis van de theorie in paragraaf 3.2. en 3.3 is ontwikkeld vormt een belangrijk raamwerk voor het onderzoek naar arbeidsrisico's en risicobeheersmaatregelen in relatie tot samenwerking met cobots. In de interviewvragen is specifiek rekening gehouden met het uitvragen naar cobotcapaciteiten omdat deze iets zeggen over de manier waarop risico's (in combinatie met AI en in interactie met autonomie) in het ontwerp beheerst worden.



Figuur 3: Factoren voor (veilige) mens-robot interactie

3.3 Kennisvraag 3

In deze paragraaf is informatie opgenomen in relatie tot kennisvraag 3:

In hoeverre zijn bestaande technieken voor de analyse en beheer van risico's bruikbaar in werksituaties waarin meer autonome robotsystemen worden ingezet, en zijn hiervoor aanvullende aanpakken noodzakelijk.

3.3.1 Probleemstelling

De gevaren die benoemd worden in de nieuwe cobotrichtlijn ISO/TS 15066:2016 - (Robots and robotic devices) kunnen worden gebruikt als basis voor risicoanalyse en -evaluatie. Echter, TS15066 verwijst hierbij naar ISO10218-2 Annex 1a, die weer afkomstig is

uit ISO12100 – norm voor risicobeoordeling en risicobeperking voor ontwerpers ten aanzien van Veiligheid van Machines. Dat wil zeggen dat er nog altijd wordt uitgegaan van de gevarenlijst uit de Machinerichtlijn en die is niet volledig toepasbaar voor wat betreft fysieke mens-robot interactie.

Normen gaan vooralsnog vooral in op fysieke interactieveiligheid. Dit is niet afdoende om veiligheid op de werkvloer te borgen, omdat er bijvoorbeeld ook sprake is van cognitieve interactie met robotsystemen waarbij ergonomische factoren in het interface ontwerp een belangrijke rol spelen bij het beheersen van o.a. softwarerisico's.

De onderzoekers stellen op basis van in bovenstaande paragrafen bestudeerde literatuur vast dat er nog geen specifieke gevarenlijst bestaat voor het werken met cobots, waarbij expliciet aandacht is voor de volgende vormen van interactie:

1. Indirecte interactie via hardware/ software interface
2. Cognitieve interactie via gebaren, spraak of audiosignaal
3. Interacterende omgevingseffecten.

Daarnaast wordt er in diverse normen (ISO10218-1; ISO13482) aanbevelingen voor het ontwerp gegeven, maar geen specifieke richtlijnen voor risico analyse technieken. Dit geldt ook voor de onzekerheden die gepaard gaan met onvoorspelbaar robotgedrag door toepassing van bijvoorbeeld foutcorrecties op basis van artificiële intelligentie. Dergelijke toepassingen vereisen een hoge Safety Integrity Level (SIL; EN 62061) – en/ of Performance Level (PL; ISO 13849-1) (bedoeld voor het borgen van “functionele veiligheid”⁵⁹ en zijn gebaseerd op “statistische faalkansberekeningen”; beiden worden toegepast in verschillende technische domeinen.

3.3.2 Risicoanalysetechnieken

Een risicobeoordelingsmethode voor cobotsystemen zou daarom moeten voldoen aan de volgende eisen:

1. De methode is toepasbaar vanaf het begin van het ontwikkelingsproces (ontwerp) tot en met het gebruik (beheer).
2. Het gaat uit van de menselijke activiteit als bron van gevaar (afwijkingen)
3. Houdt rekening met capaciteiten van de cobot (niveau van autonomie of ‘slimheid’ van cobot).
4. Richt zich hoofdzakelijk op operationele gevaren, als gevolg van (geplande) inzet van cobot (taken) in interactie met de mens en omgeving.

Momenteel veel gebruikte risicoanalysetechnieken⁶⁰ voor het identificeren van robotrisico's zijn: Process Hazard Analysis (PHA), Hazard Operability Analysis (HAZOP), Fault Tree Analysis (FTA), Fail Mode, Effecten en Criticality Analysis (FMECA) of Taak Risico Analyse. De PHA en HAZOP kunnen als methoden worden toegepast in de vroege stappen van een

⁵⁹ Functionele veiligheid heeft betrekking op dat deel van de machine of productie-installatie waarbij de veiligheid afhangt van het correct functioneren van besturingen en afschermingen om letsel (of dood) van mensen te voorkomen evenals vernietiging of beschadiging van productiefaciliteiten (machines) en productie-kwaliteit (productieverlies en uitval). Voorbeelden zijn: noodstopcircuit, toegangscontrole en gebiedsbewaking robot.

⁶⁰ Guiochet, J. (2016). Hazard analysis of human–robot interactions with HAZOP–UML. *Safety science*, 84, 225-237.

ontwikkelingsproces, terwijl de FTA en FMECA meer gericht zijn op geavanceerde stappen en betrouwbaarheidsaspecten van de robot. Daarnaast zijn er inmiddels ook robot specifieke veiligheidsanalysetools ontwikkeld zoals HAZOP-UML⁶¹. HAZOP-UML is een gevarenanalyse techniek die HAZOP en de systeemomschrijving taal UML (Unified Modeling Language) combineert. Het is ontwikkeld bij LAAS-CNRS (Guiochet en anderen., 2010⁶², 2013⁶³; Martin-Guillerez en anderen., 2010⁶⁴), en wordt toegepast in industriële contexten. Op specifieke elementen van het UML-diagram wordt een selectie van gidswoorden toegepast om de afwijkingsanalyse te begeleiden. De output van een HAZOP-UML zijn: een lijst met gevaarlijke situaties, consequentie analyse, een reeks aanbevelingen en een lijst van hypothesen. De belangrijkste voordelen van HAZOP-UML zijn: eenvoud, toepasbaar bij vroege ontwikkelingsprocesstappen, systematisch, modelgebaseerd (delen van modellen met ontwikkelingsproces) en gebruikersgericht.

TRA

De Taak Risico Analyse (TRA) wordt met name gebruikt voor nadere beschouwing van een enkele (hoog risico) taak. Dit dient vaak als extra verbeterstap in het werkvergunningproces. Een traditionele TRA zal echter de lading niet dekken. Zoals beschreven in dit rapport zijn risico's met cobots namelijk dynamischer als gevolg van a) interacties tussen de robot en de mens/omgeving, en b) diversiteit (capaciteit) van robotsystemen. Deze variabelen tezamen zullen bepalen welke gevaren (onveilige handelingen/situaties) zich kunnen voordoen.

Bow-tie en Storybuilder

Een analysemethodiek als de Bow-Tie (ook wel vlinderdasmodel) of Storybuilder onderscheiden de risico's niet op ernst (van het effect). De systematiek laat de gebruiker geen effecten kwantificeren, zoals de R.I.&E. en de HAZOP dat wel doen. Daarentegen kan de Storybuilder systematiek wel inzage bieden in het verloop van een incident met situatie-uitlokkende factoren. En kan op basis van big-data (oorzaak-gevolg relaties uit Storybuilder) iets over faalkansen van gebeurtenissen gezegd worden. Echter, op dit moment bevat Storybuilder nog geen incidenten met robots; dat wil zeggen dat bij incidenten met machines niet nader is gespecificeerd of het gaat om een incident met een traditionele machine, een robot of een cobot. Er wordt enkel gesproken over incidenten met machines. De Bow-Tie gaat uit van risicoscenario's met een centrale gebeurtenis als middelpunt waarna dreigingen, gevolgen en risicobeheersmaatregelen verder in kaart worden gebracht. Storybuilder en Bow-Tie bieden de mogelijkheid om scenario's te illustreren aan gebruikers, waardoor de

⁶¹ Meer informatie over HAZOP-UML: <http://homepages.laas.fr/guiochet/telecharge/HAZOP-UML-all.pdf>

⁶² Guiochet, J., Martin-Guillerez, D., Powell, D., 2010. Experience with modelbased user-centered risk assessment for service robots. In: IEEE International Symposium on High-Assurance Systems Engineering (HASE2010). IEEE Computer Society, San Jose, CA, USA, pp. 104{113.

⁶³ Guiochet, J., Do Hoang, Q. A., Kaaniche, M., Powell, D., 2013. Modelbased safety analysis of human-robot interactions: The MIRAS walking assistance robot. In: Rehabilitation Robotics (ICORR), 2013 IEEE International Conference on. pp. 1{7.

⁶⁴ Martin-Guillerez, D., Guiochet, J., Powell, D., Zanon, C., 2010. UML-based method for risk analysis of human-robot interaction. In: International Workshop on Software Engineering for Resilient Systems (SERENE2010), London, UK.

doelgroep verkent en leert hoe ongevallen met cobots in de praktijk (zouden kunnen) ontstaan.

De HAZOP-methode

Het bovenstaande in aanmerking nemende lijkt de HAZOP-methode vooral geschikt als risico identificatie techniek voor robotveiligheid analyse. In Bijlage C is een voorbeeldtabel opgenomen waarin de HAZOP-methode deels is weergegeven. Voor het gebruik van de HAZOP zijn onderstaande argumenten aan te dragen:

1. De HAZOP is toepasbaar in zowel ontwerpfase als gebruiksfase. De HAZOP-methode is ook toepasbaar op risico's van niet-fysiek-technische installaties, zoals procedures voor het hanteren van complexe processen (b.v. batch processen).
2. De HAZOP-methode combineert twee typen onderzoek: het voorspellende en het operationele onderzoek. Op basis van gebeurtenissen en situaties met een storing of afwijking worden deze in het voorspellende onderzoek overgenomen. Met name het beoordelen van 'systeemreacties' (reacties in de context waarin mens, robot en omgeving met elkaar interacteren) als gevolg van afwijkingen is toepasbaar op de interactie tussen mens en cobot. De oorzakenanalyse van deze systeemreacties wordt vastgesteld in het operationele onderzoek ('operations research'). De methodiek is gericht op het ontdekken van invloeden die de cobot verhinderen de beoogde functie (of taak) strikt te vervullen zoals geprogrammeerd.
3. De HAZOP-methode kan worden uitgebreid met systeemmodelleringstaal zoals UML (Unified Modeling Language). Deze methode is ontwikkeld in samenwerking met LAAS en succesvol toegepast in verschillende Franse en Europese projecten (PHRIENDS, 2006-2009; SAPHARI, 2011-2015; MIRAS, 2009-2013) in samenwerking met robotfabrikanten (KUKA Robotics, AIRBUS Group en Robosoft).

4 Interview- en workshopresultaten

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de resultaten uit de interviews en de workshop. Onderstaande resultaten geven de meningen en suggesties weer die door de geïnterviewden en deelnemers van de workshop zijn geuit. In de interviews is besloten om te focussen op AGV's als usecase van een cobot systeem. In sectie 3.2 lichten wij toe dat AGV's een subklasse van cobots zijn. De reden dat wij ons hier beperken tot AGV's is omdat:

- a) AGV's relatief meer in de praktijk worden toegepast.
- b) AGV's door hun mobiliteit al tot interacties met medewerkers leiden.

In de interviews en de workshop is vooral gefocust op het beantwoorden van kennisvraag 2:

"Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen en wat zijn beheersmaatregelen?"

Hieronder zullen de belangrijkste bevindingen omtrent de risico's en beheersmaatregelen die tijdens de gesprekken aan bod zijn gekomen worden vermeld. Deze thema's zullen gegroepeerd zijn rondom 4 subthema's.

De thema's zijn (1) Onveilige robots voorkomen met een inherent veilig ontwerp, (2) Menselijk falen in de mens-robot-interactie, en (3) Robot falen in de mens-robot-interactie. (4) Wantrouwen op de werkvloer door (introductie) AGV.

Verder worden in de paragrafen 4.2.5 en 4.2.6 preventieve en reactie risicobeheersmaatregelen beschreven voor twee thema's die uitgebreid aan bod zijn gekomen in de workshop: (1) Wantrouwen op de werkvloer door (introductie) AGV en (2) Botsing van een traditionele machine of AGV met de mens. Tot slot wordt in de laatste paragraaf een stapje naar de toekomst gemaakt door te laten voorspellen wat er verandert in de risico's en risicobeheersing wanneer de AGV-systemen in de toekomst slimmer en nog autonomer worden.

Eerst zullen echter enkele praktijkvoorbeelden van cobots worden gegeven die in de gesprekken zijn voorgedragen in relatie tot de eerste kennisvraag:

"Welke nieuwe (autonome) gerobotiseerde systemen zijn er?"

4.1 Kennisvraag 1: Welke nieuwe (autonome) gerobotiseerde systemen zijn er?

Uit de interviews zijn een aantal AGV's naar voren gekomen die in onderstaande tabel 5 beschreven worden en die onderwerp van discussie zijn geweest omtrent de risico's en risicobeheersing van AGV's.

Tabel 5. Genoemde typen AGV's

AGV	Beschrijving
AGV met vorken	Deze AGV rijdt met de werknemer mee terwijl deze orders verzameld binnen een bepaalde tijd aan de hand van een voice picking systeem. Ook stapelt de werknemer colliers op de juiste wijze in de order rol containers en sealen en labelen deze containers zodat ze naar de expeditie vloer kunnen. De werknemer bedient ook de elektrische verzameltruck en verwisselt de accu bij het laadstation. Met een druk op een knop op een draadloze 'transceiver'-handschoen (Crown QuickPick), kunnen order pickers de truck naar de volgende pick-up plaats op afstand verplaatsen zonder dat ze naar het compartiment van de operator moeten terugkeren; waardoor deze in de optimale positie kunnen blijven voor het order picken. Hierdoor is er geen aan- en afvoer van rolcontainers meer nodig naar het dock; Dit bespaart 15% bewegingen.
Kiva robot (Amazon)	Deze mobiele AGV plukt pallets met producten uit de magazijnvloer en brengt ze naar een medewerker, die items kiest en ze vervolgens verpakt voor verzending. https://www.youtube.com/watch?v=JXkMevbija4
Omnimove	Omnimove is een groot geautomatiseerd mobiel platform die rijdt op omni-directionele wielen. Het platform kan hierdoor om zijn as draaien en haaks bewegen. Op die manier kunnen in een relatief kleine ruimte Aerospace onderdelen (vliegtuigen rompen en vleugels) verplaatsen en treinwagons getransporteerd worden. De Omnimove kan tot 50 ton verplaatsen. https://www.youtube.com/watch?v=kN9a7W_hnSQ
Geautomatiseerde mobiele platformen	Geautomatiseerde AGV, die via gps of spoor of sensoren een voorgeprogrammeerde baan rijden. Soms vrij programmeerbaar op basis van SLAM-navigatie.
Mobiele Robot met Robotarm	Dit is een cobot gemonteerd op een AGV. https://www.youtube.com/watch?v=yMAgKyMF82s

4.2 Kennisvraag 2: Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen en wat zijn beheersmaatregelen?

De resultaten met betrekking tot deze kennisvraag zullen worden behandeld aan de hand van de volgende thema's:

- 4.2.1 Onveilige robots voorkomen met een inherent veilig ontwerp.
- 4.2.2 Menselijk falen in de mens-robot-interactie.
- 4.2.3 Robot falen in de mens-robot-interactie.
- 4.2.4 Wantrouwen op de werkvloer door (introductie) AGV.
- 4.2.5 Botsing van een traditionele machine met de mens.
- 4.2.6 Botsing van de AGV met de mens.

4.2.1 Onveilige robots voorkomen met een inherent veilig ontwerp

De belangrijkste vorm van risicobeheersing berust bij het veilige ontwerp van de AGV. Niet voor niets zijn er daarom diverse normen geschreven, die de producent en systeem integrator verplichten rekening te houden met een aantal belangrijke veiligheidseisen in het ontwerp. Een groot deel hiervan is al beschreven in voorgaande paragrafen (zie 3.2.2 tot en met 3.2.4) en een deel zal terugkomen in paragraaf 4.2.1.4 Veiligheidsstandaarden in het ontwerp. In de paragrafen 4.2.1.1 en 4.2.1.2 worden de technische ontwerpmaatregelen beschreven en in paragraaf 4.2.1.3 de RI&E-methodiek, De RI&E is leidend voor de normen die gehanteerd dienen te worden in het ontwerp. Een aantal belangrijke normen wordt in de daarna volgende paragraaf beschreven.

Hardware: Technische (ontwerp) maatregelen

De belangrijkste algemene ontwerpmaatregelen voor impactreductie zijn: maximale toegestane (draag)gewicht, krachtreductie, max. snelheid in gespecificeerde zones max. belastbaarheid van de AGV en de capaciteit, en het aanbrengen van stootvlakken met 'softe materialen. Daarnaast zijn er diverse maatregelen die bijdragen aan een veilige routing. Als er een hindernis is, bijvoorbeeld (een operator die in de weg loopt) dan kunnen veiligheidssensoren van een veiligheidsscanner van de AGV het object detecteren, waarna de AGV zijn snelheid naar de gewenste standaard zal terugbrengen. Zodra de operator te dichtbij komt zal de AGV stoppen. Hiervoor wordt ook gebruik gemaakt van een sensor.

Als een AGV in een kuil of over een hobbel rijdt (door ongelijkvloerse ondergrond) kan de AGV schommelen, waardoor de blikhoek van de AGV verandert. De waarneming van de AGV is door huidige technieken veelal slechts beperkt door het visuele veld/vlak dat 'wordt waargenomen in een bepaalde kijkrichting. Dit verandert afhankelijk van waar de camera op gericht. Omgevingsfactoren (zoals een gelijkvloerse ondergrond) dienen daarom ten alle tijden optimaal beheerst te zijn. Het algemene veiligheidsbeleid van de organisatie waar de AGV is geïmplementeerd dient daar rekening mee te houden. Het toepassen van 3d of zelfs 4d visualisatiecamera's in het ontwerp van de AGV, is een bronmaatregel die dit risico weg kan nemen.

Met 'mapping-technologie' maken AGV's een map van de omgeving. Ze scannen dan de vloer en maken daar een kaart van. Toegelaten zones en verboden gebieden zijn van tevoren geprogrammeerd in het systeem.

Risico is dat een situatie in de omgeving wijzigt. In dat geval is een AGV niet in staat dit te herkennen, tenzij er een nieuwe map wordt gemaakt. Een alternatief dat hiervoor kan worden geboden is een 'Safe move' functie. Deze functie biedt een bepaalde bewegingsvrijheid, die beperkt wordt tot een bepaald gebied. De Safe move-functie scant de werkzone. Zodra er iemand binnen deze zone komt schakelt de AGV zichzelf uit.

Communiceren door de AGV door visuele signalen, beperkt zich veelal nog door statusinformatie met LED-signalen op displays. Sommige cobots kunnen echter ook bepaalde bewegingen uitvoeren. Deze kunnen dan als "tekens" of "indicaties" worden geïnterpreteerd door de medewerker, waarmee de voorspelbaarheid van de cobot wordt vergroot. Cobots hebben ook bedieningspanelen met een SMART-pad interface. Dit is een scherm waarop de actuele status (toestand) van de cobot aangeduid wordt. Vergelijkbare technieken zouden ook voor de AGV overwogen kunnen worden. Er is nog geen ('gestandaardiseerd') communicatieprotocol dat verbale interactie tussen werknemer en

AGV faciliteert. Dit is lastig, omdat een medewerker dan ook volgens 'cue' woorden moet communiceren in geval van een calamiteit. De vraag is wat dan geschikte woorden zijn om te gebruiken (denk aan "ho" of "stop")?

Met oog op toekomstige AGV's dienen afspraken te zijn gemaakt hoe gevaren gecommuniceerd worden door zowel gebruiker als de autonome AGV. In sommige gevallen kan de AGV op taal geherprogrammeerd worden ten dienste van de gebruiker, zodat het 'voicepickingsysteem' de gebruiker herkent en zich hierop instelt. Hierdoor wordt de AGV door de gebruiker beter begrepen, waardoor interpretatie en sturing door de operator makkelijker wordt.

Er dient altijd een noodstop te zijn. Om snel te kunnen anticiperen op situaties dient dit bij voorkeur te gebeuren aan meerdere zijden van de AGV. Er bestaat de mogelijkheid om AGV's in een stopmodus te zetten, door een specifieke knop in te schakelen. Het proces 'automation' wordt dan overruled'. De 'manuele modus' wordt dan de actieve modus, waardoor de autonomie van de AGV stopt.

Voor zware AGV's zijn 'verbrekerremmen' als intrinsieke ontwerpmaatregel toegepast. Verbrekerremmen kunnen echter ook een risico vormen bij storingen. Als er geen hydraulische druk is werkt het verbrekersysteem niet. Als er dan een ongeval plaatsvindt is de AGV niet meer van de rem te krijgen, wat een gevaar kan zijn voor een de beknelde persoon. Er dienen daarom betrouwbare druktanks geïnstalleerd te zijn om ervoor te zorgen dat de rem geactiveerd kan worden. Remmen zullen waar mogelijk meer verlicht moeten worden. Ook hier dient er een duidelijk signaal naar de gebruiker te gaan over de storing, zodat de gebruiker hierop kan anticiperen. Hierover zouden duidelijke eisen kunnen worden opgenomen in de Machinerichtlijn.

Veel besturingssystemen zijn niet certificeerbaar. De fysieke veiligheid moet daarom via een onafhankelijk pad geborgd worden. Hiervoor wordt een zogeheten 'Veiligheid-PLC' ('Programmable Logic Controller) aan diverse standaarden getoetst. Deze standaarden borgen onder andere dat de software niet gemakkelijk is te wijzigen. De 'Veiligheid-PLC' checkt een aantal veiligheden. Een systeem is niet meer veilig als ook maar een voorwaarde ontbreekt. De 'Veiligheid-PLC' bevat hiervoor een soort blauwdruk, van de geprogrammeerde basisgegevens voor veiligheid van de AGV. Dit instrument zorgt voor robuust monitoren van veiligheidsfuncties (zones, hoogte, snelheid en acceleratie) ter voorkoming van fysiek contact met mensen.

Er zijn mobiele platformen met 7-assige robotarmen, die allen een krachtensensor bevatten. Als de kracht wordt overschreden door een object dan stopt de AGV zijn beweging. De arm toetst daarbij het moment (is er druk of niet?), waarna de arm van de AGV automatisch zijn programma verder kan brengen als dit niet het geval is. Het voordeel daarvan is dat de AGV dan niet herstart hoeft te worden. Het risico is dat hiervoor contact nodig is met de arm. De bewegingsveiligheid bij de mobiele platformen is geborgd door de maximale snelheid voortdurend te monitoren. Bij overschrijding van de toegestane snelheid stopt de robot en wordt een melding uitgegeven voor de operator. Zodra de 'Veiligheid-PLC' dat niet meer borgt is er kans op schade.

Voor bepaalde grote type logistieke AGV's geldt dat op langere afstanden objecten met behulp van een laserscanner (Lidar-technologie) gesignaleerd kunnen worden. Nadeel van lasertechnieken bij AGV's is dat deze op een bepaalde hoogte werken. Als mens wordt je dan deels gezien. Er is ook kans op schaduwwerking. Als de AGV bijvoorbeeld achter een object beweegt zijn objecten in omgeving niet waar te nemen. Een slimme sensor moet dan detecteren of een mens zich binnen een bepaalde zone bevindt; deze sensor maakt geen onderdeel uit van de PLC maar vormt de 'ogen' van de PLC. Een camera die onderscheid kan maken tussen mens en machine zou vereist moeten zijn. Met een 3d camera zoals de 'Kinect' en warmtebeelden is hier al iets te realiseren. Dit heeft alleen nog niet de betrouwbaarheid die wenselijk is bij de toepassing.

Bij detectie wordt de snelheid aangepast volgens een bepaald vastgesteld profiel. Indien een object heel dichtbij is dan kan de AGV automatisch stilstaan. Indien dit faalt is er nog de bumper ('direct stop') als tweede barrière. Hiervoor is een laser scannergordijn en bumpersensor aanwezig. De veiligheidsrelais (als laatste barrière) werkt als een soort handrem. Dit heeft wel weer gevolg voor lading die daarmee van de AGV kan schieten als deze niet goed is geborgd. Alternatief voor de camera (en tevens extra veiligheidsbarrière) is het gebruik van matten op de vloer (als operator in de zone komt halveert zijn snelheid) of door lasertechnieken.

De toepassing van sensoren in een (te) drukke omgeving kan risico's met zich meebrengen voor de observeerbaarheid van de AGV. Een omgeving waar veel mensen zijn kan dan te complex worden om te verwerken, waardoor de AGV omgevingsinformatie mist. Er kunnen beperkte middelen in anders kan de processor en accu het vermogen niet aan. En wat doet het met de betrouwbaarheid van het toepassen. Voor toepassingen voor de industriële AGV of cobot kunnen robotontwikkelaars en systeemintegratoren nog veel leren met betrekking tot mens-robot-interactie uit het sociale robot domein, waaronder de zorg.

Om de stuurbaarheid door de mens gedurende mens-robot interactie te vergroten zou bij de lichte AGV een vergelijkbare manuele functie als bij de cobot kunnen worden ontworpen. De operator kan een cobot een nieuwe opdracht geven om de cobot in zijn werkproces van taak A naar B en dan naar C te bewegen door de cobot(arm) in een richting te duwen. Bij een storing kan de operator dat zien aan de foutmelding, die een technicus van de producent kan inschakelen voor assistentie. Sommige cobots kunnen fysieke signalen afgeven. Via de 'teach pendant' kan aan de cobot expliciete instructies worden gegeven en eveneens worden ingesteld door geautoriseerde gebruiker (waarmee de stuurbaarheid door de mens vergroot). In deze manuele modus kunnen aanpassingen in de beweging worden afgedwongen.

Het inschatten van risico's (predictability) door de AGV is nog beperkt. Voor cobots is in de 'teach pendant' een simulatiemodus om af te leiden wat een cobot zal gaan doen wanneer deze op een manier wordt ingesteld. Iets vergelijkbaars zou voor de AGV in de onderhoudsmodus beschikbaar kunnen zijn. Zowel cobot als AGV's hebben in principe een constant voorgeprogrammeerd gedrag, waar de mens zich typisch op aanpast. In tegenstelling tot de AGV heeft de cobot echter nog vaak de leiding en bepaald hij het ritme van een productielijn (stuurbaarheid). De cobot kan daarbij zijn eigen proces nog niet zelf aanpassen (op zijn omgeving, de mens bijvoorbeeld) wanneer het tempo voor de mens te

hoog wordt om bij te houden. In gevallen waarbij met de AGV wordt samengewerkt (bij taakoverdracht) dient daar eveneens rekening mee te worden gehouden.

Hoewel de machinerichtlijn vereist dat machines te overrulen zijn door de mens, kan het 'overrulen' van de AGV ook een risico zijn, waardoor overrulen door iedere willekeurige gebruiker in de praktijk niet altijd wenselijk wordt geacht bij alle type AGV's. Denk hierbij bijvoorbeeld aan situaties waarin de AGV stilvalt bij calamiteiten, waardoor er zich door deze situatie meer of andere gevaren voordoen. Interactie risico's tussen de AGV en gebruiker moeten dus ook in dit soort situaties worden geïnventariseerd. Voor dit soort situaties kan in een protocol worden bepaald, wie (operationeel manager, 'fleetmanager' en BHV-team) in welke situaties mag 'overrulen'.

Fysieke risico's beheersen in het ontwerp

Fysieke risico's kunnen worden ingedeeld in twee grote categorieën:

1. risico ten gevolge van robotontwerp.
2. risico's als gevolg van het functioneel gebruik van de AGV ('de tooling').

De systeem- integrator brengt de risicoscenario's in kaart. De risico's zijn afhankelijk van de toepassing van de AGV (en bij cobots de gebruikte materialen voor de end-effector). Om tot een volledige risico-inschatting te komen wordt eerst gedacht vanuit 'common sense'. Vervolgens wordt gekeken naar het ontwerpen van een veilig systeem met behulp van een RI&E. Kritische onderdelen worden eerst 'gepinpoint' en dan kan met de normen erbij bepaald worden wat grenswaarden voor ontwerpcomponenten (kracht, snelheid, etc.) zijn.

Voor het bepalen van de normen van grippers voor verschillende toepassingen wordt gekeken naar: 1. welke taak en functie; 2. welke grijpertechniek; 3. welke producten worden ermee gemaakt? en 4. hoe is de software hierop te programmeren?

De toepassingen van de cobot/ AGV moeten binnen bepaalde normen vallen. Soms is er sprake van een grensvlak. Bij bewegen op gezichtshoogte moet bijvoorbeeld gerekend worden met de effecten van bijvoorbeeld rondingen. De eindgebruiker heeft daarom ook een verantwoordelijkheid om vast te stellen of een toepassing veilig is of niet.

Ten aanzien van het ontwerp dient tenminste de onderstaande risico's beheerst te worden:

- *Botsing door snelheid* (beheerst door snelheidsbegrenzing) ook positiebeveiliging (buiten zone is afwijkend, of zone definiëring).
- *Klemgevaar* ('joints' waar men tussen geklemd kan raken). Dit wordt o.a. voorkomen door het toepassen van afgeronde vormen in het ontwerp) Voor cobots geldt ook de mate van koppel. Dit is de (niet) toegestane weerstand tussen object en cobot in een bepaalde werkzone. Dit wordt per configuratie (afhankelijk van de toepassing) bepaald.
- *Tooling*: Op ooghoogte moet de impact (en dus snelheid) geringer zijn dan op de buik.
- *Accuspanning en accuzuur*: zonerings, door accu in andere aparte afgesloten ruimte voor de gebruiker te plaatsen.

Risico-analyse en Incidentmanagement

Het verzamelen van statistische gegevens zou een aanvulling kunnen zijn op de huidige RI&E benadering volgens ISO-13849 -I en ISO 12100. Dit draagt bij aan een veiligheidsmanagementsysteem, waarmee risico en kwaliteit van maatregelen van tevoren nauwkeuriger kunnen worden gemeten.

Een belangrijke collectieve maatregel is het registreren van 'bijna ongevallen' (near misses) als gevolg van onverwachte bewegingen. Het communiceren over de robot en de bovenliggende software in de keten, leidt tot 'geleerde lessen', die helpen de software en hardware voor de AGV te verbeteren. De huidige techniek van analyseren van risico's met de RI&E zou beter kunnen. Het blijft een kwalitatief gegeven. Het kwantificeren van risico's zou interessant kunnen zijn als de kwantificeringsmethodiek gestandaardiseerd kan worden. Als je de drie belangrijkste risico's hierdoor zou kunnen specificeren dan ben je al ergens. Nu worden er testen gedaan bij universiteiten en kennisinstituten (bijvoorbeeld naar de belastbaarheid van de mens). Het geconditioneerd uitvoeren van experimentele onderzoeken zou daar onderdeel van uit kunnen maken. Het is lastig om achteraf een scenario te analyseren als er iets is gebeurd. In een gecontroleerde setting kun je dit beter vaststellen. Er zouden bijvoorbeeld gevaarlijke situaties uit de praktijk gehaald kunnen worden, die in gecontroleerde setting getoetst worden. Als robots veranderen is dit wel lastig, omdat de kans bestaat dat er dan met gedateerde modellen getest wordt.

In geval van calamiteiten moeten AGV's naar een vaste plek kunnen, die geen risico's vormt voor verdere escalatie van de ontstane situatie. Dus bijvoorbeeld geen plek waar accu's kunnen ontploffen als het te heet wordt. De incidentgegevens zouden herleidbaar moeten zijn uit de brandmeldinstallatie-gegevens in het gebouw die verbonden is met een de AGV en de fleet manager.

In relatie tot goed ketenbeheer zouden 'goede voorbeelden en geleerde lessen' zouden door de producent altijd gerapporteerd dienen te worden. De veiligheid moet vervolgens in nieuwe (updates) van AGV-systemen verbeterd worden. Ook dient hierover voorlichting gegeven te worden. De gebruikershandleiding moet in de landstaal voor het bedrijf waaraan wordt geleverd geschreven zijn en de gevaren die bekend zijn moeten erin opgenomen zijn.

Veiligheidsstandaarden voor het inherent veilig ontwerpen van de AGV

In het interview zijn de onderstaande standaarden genoemd die in ontwerp en productie van cobots worden gebruikt. Deze informatie is additioneel naast de in paragraaf 3.2.2, 3.2.3 en 3.2.4 opgesomde standaarden. De ontwerper van de AGV zal moeten voldoen aan de noodzakelijke veiligheidseisen, die zijn opgenomen in regelgeving m.b.t. de veiligheids- en gezondheids- en milieuaspecten voor het AGV product. De ontwerper kan hiertoe gebruik maken van onderstaande standaarden. De systeemintegrator is verantwoordelijk om (met het bedrijf) een risicoanalyse te maken, die is afgestemd op de toepassing, voor het vaststellen van te gebruiken normen.

- EN ISO 12100-1,-2 Basic concepts, general principles for design.
- EN ISO 13849-1:2008 Safety-related parts of control systems - Part 1:General principles for design.
- EN ISO 13850:2008 Emergency stop - Principles for design.
- EN 1525 Driver less trucks and their systems.
- EN 349+A1:2008 Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body.
- EN ISO 14121-1:2007 Risk assessment - Part 1: Principles.
- EN 60204-1 Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements.
- IEC 60204-2 Electrical equipment of industrial machines. Part 2: Item designation and examples of drawings, diagrams, tables and instructions.
- Electromagnetic compatibility (EMC):

- EN 61000-6-4 Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments.
- EN 55011 Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - Electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement.
- EN 61000-6-2 Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments.
- EN 61000-4-2 Part 4-2: Testing and measuring techniques - Electrostatic discharge immunity test.
- EN 61000-4-3 Part 4: Testing and measurement - Section 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.

Commissioning en implementatie

De aansturing van een groep AGV's kan geschieden door koppeling met een ERP-systeem. De afzonderlijke AGV's vormen hierin de logistieke verbinding tussen verschillende eilanden' waar producten bewerkt worden. Doel is om daarmee de productiviteit van het personeel te vergroten. Er zijn voor het vergroten van de veiligheid normen voor zorgvuldig softwarebeheer. Hierin is onderscheid te vinden in de mate van autonomie van een systeem. Een trein of gevaarlijke machine krijgen andere eisen op het gebied van autonomie. De norm EN-ISO 13849 heeft betrekking op de veiligheid gerelateerde delen van een besturingssysteem (SRP/CS) en werkt met het zogenaamde Performance Level (PL). PL geeft de mate aan waarin een SRP/CS een veiligheidsfunctie kan vervullen (onder voorziene omstandigheden). Er zijn vijf Performance Levels (a t/m e). Waarbij a de laagste en e de hoogste is. Bij het installeren van 'een machine' geldt altijd het 3-stoplichtmodel voor in gebruik name:

1. Voldoet het product aan de aankoopnormen

Bij oplevering van een product is het belangrijk om te testen of de producent heeft geprogrammeerd wat volgens specificaties geprogrammeerd zou worden. Voor cobots als de Yumi is daarvoor een 'safe mode' geprogrammeerd. Met deze functie kunnen robotbewegingen ook in 3d worden gesimuleerd. Hierdoor is te zien of in de (praktijktoepassing) nog aanpassing nodig is. Gebruiker kan ook in de echte wereld stap voor stap 'joggen' (met een joystick het proces doorlopen). Met de hiervoor beschikbare software worden bewegingspunten gemeten, gevisualiseerd en vastgelegd (meten) in een Virtual Reality-omgeving.

2. Is bij in dienststelling keuring zichtbaar en spanningscontrole uitgevoerd.

Niet alleen de producent moet aan de CE-normering voldoen. Ook de systeem integrator en uiteindelijk de gebruiker (afnemer) moeten een systeem hebben die borgt dat de veiligheid met instructies van de integrator erbij veilig zijn. De instructie die wordt opgesteld is gebaseerd op verschillende producthandleidingen.

Sommige bedrijven hebben eigen systeemintegratoren in dienst. Het aanstellen van een systeemintegrator is momenteel nog een zelfcertificeringsklasse waar geen eisen aan zijn verbonden. Als het fout gaat moet het bedrijf kunnen aantonen dat bedrijf er alles aan heeft gedaan om dit te realiseren. Eindgebruiker moet toetsen of de systeemintegrator zijn kennis en documentatie over het systeem dat in gebruik wordt genomen op orde heeft. De systeemintegrator moet daarbij aantoonbaar gebruik maken van de ISO standaarden.

Het dient de aanbeveling om de inspanningen om het systeem veilig te maken in een open bedrijfscultuur te delen met de eindgebruiker.

Een heersende claimcultuur kan dit proces doen stagneren. Als de systeemintegrator opgedane kennis deelt dan weten (andere) eindgebruikers ook welke risico's er spelen. Hiervoor zou nog een format bedacht kunnen worden. De producent kan de integrator met dit format support bieden bij de systeemintegratie.

3. Heeft personeel een doeltreffende training gehad

Als je alles in de hardware en software geborgd hebt en het testen heeft plaats gevonden, is het trainen van het personeel in het correct gebruik nog een vereiste aanvulling. Ook dient er basiskennis van wat de AGV kan bijgebracht te zijn voor als het situaties fout gaan. Dit leidt tot een beter begrip van de AGV en de risico's. Dit stimuleert medewerkers tevens om de AGV te begrijpen, waardoor medewerkers ook beter voorbereid zijn op het samenwerken met de AGV. Leveranciers dienen de AGV-systemen pas over te dragen als de mens laat zien dat hij voldoende bekwaam is om ermee te werken. Het AGV-systeem kan in bepaalde mate ook registreren wat er gebeurd is doormiddel van (incident)logs. Ook welke werknemers betrokken zijn geweest bij een fout of (potentieel) incident kan zichtbaar gemaakt worden.

Sommige producenten vereisen van hun klant de aanstelling van een 'fleet operator'. Deze persoon is verantwoordelijk voor het AGV-systeem. De fleet operator krijgt een door de leverancier (systeemintegrator) ontwikkelde training. Daarbij worden ten behoeve van het ISO-managementsysteem een aantal kerntaken gedefinieerd:

1. Zorg dragen voor het blijven rijden van de vloot.
2. Oplossen van problemen met de AGV bij stagnatie.
3. Voorlichting naar de werkvloer wat samenwerken met of werken in de omgeving met de AGV betekent voor de medewerkers.
4. Collectieve maatregelen in bedrijfsproces (belijning en zonering van AGV's t.o.v. andere medewerkers of derden.
5. Het communiceren en aanleren van algemene huisregels en gedragsregels die betrekking hebben op werken met of in de omgeving van de AGV.

4.2.2 Menselijk falen in mens-robot-interactie

Behalve de wettelijke eisen in het fysieke ontwerp van AGV-systemen en de integratie van AGV-systemen op de werkvloer vormt menselijk falen een risico in de interactie met de AGV waar in onderstaande paragrafen 4.2.2.1 t/m 4.2.2.4 nader op wordt ingegaan. Ook worden in deze paragrafen verschillende risicobeheers-maatregelen voorgesteld.

Gebruik en onderhoud van de cobot/AGV

Als leverancier kun je bepaalde opgedane praktijkkennis over risicovolle bewegingen van cobot of AGV meegeven aan de klant. Neem als voorbeeld de cobot, die in de praktijk inefficiënte draaien maakt, wat in bepaalde gevallen rechtlijniër zou kunnen. Informatie m.b.t risico-omstandigheden (als gevolg van menselijk handelen), die in de praktijk wordt opgedaan kan worden teruggegeven aan Research en Development afdelingen zodat zij van de producten de RIE kan updaten met nieuwe kennis en producten kunnen verbeteren. Het updaten van de RI&E op basis van de arbeidshygiënische strategie zou een vervolgstap kunnen zijn waar producenten en systeemintegratoren aan werken.

Bij het (opnieuw) programmeren van acties voor de AGV in de software, kan de programmeur onbewust risico's inbouwen (als onvoldoende rekening wordt gehouden met

risico's in de werkomgeving). Een voorbeeld is een AGV die 10 km verderop moet werken. Wat je dan in de software programmeert (en kunt programmeren) is dan al bepalend voor de risico's op de weg ernaartoe. De route moet alle mogelijke obstakels om van A naar B te komen dan meenemen. Wat als er bijvoorbeeld incidenteel hydraulische olie op de route ligt? Dit had al in een goed ontwerp (zonering) voorkomen kunnen worden, of hersteld door werkafspraken over orde en netheid van de omgeving (housekeeping). Het inperken van de capaciteiten van de AGV kan daarom wenselijk zijn. Een AGV die veel mag waarbij de operator bepaald wat niet mag (erg autonoom) is moeilijker te beheersen dan de AGV die alleen iets mag als de operator het toelaat (minder autonoom).

De AGV's die worden gekocht door bedrijven zijn niet allemaal universeel (er komen steeds nieuwere of andere versies op de markt). Dit heeft tot gevolg dat de onderhoudsmonteur bij software-updates niet altijd zeker weet wat de AGV juist heeft verwerkt in de softwareprogrammering en wat niet. Dit zou een risico kunnen zijn voor onvoorspelbaar gedrag door de AGV. Een bronmaatregel die als oplossing voor dit probleem kan fungeren is te zorgen voor additionele regelgeving voor het gebruiksprotocol, die bepaalt dat het effect van de update van de software door de systeemintegrator (voor alle type en versies van AGV's) opnieuw getest zou moeten worden voor vernieuwde versies van software in de AGV's, om te zien of dit dezelfde output heeft. Dit gebeurt bij auto's precies hetzelfde.

Daarnaast is werkgever verantwoordelijk voor een 'management of change'- procedure, die ervoor zorgt dat bij wijziging in de programmering (code) de juiste documenten worden ingevuld. Het updaten van de informatie is de taak van de systeemintegrator. Met de management of change procedure kunnen fouten worden herleid en hersteld en veranderingen in de organisatie worden gecommuniceerd. Hiermee wordt tevens gestimuleerd dat autorisatie door de juiste persoon wordt uitgevoerd. Bij verschil (of verandering) in toepassing van de AGV moet ook altijd eerst een nieuwe risicoanalyse gemaakt worden.

Risico's met storingen beheersen:

Om risico's op ongevallen als gevolg van storingen te voorkomen zou de software van de AGV de actuele stand (foutcode) moeten vasthouden tot akkoord operator. Bij gebruik van de noodstop kan een licht spanningsverlies tot gevolg hebben dat de AGV teruggrolt, met knelgevaar tot gevolg.

Wanneer de noodknop wel of niet in te drukken is, heeft dat invloed op het verloop van incidenten. Bij brand bijvoorbeeld moet alle spanning van de AGV, mits hij zich in een veilige zone gevind. Voor de juiste interpretatie door de gebruiker dienen de juiste signalen (LED-verlichting) gehanteerd te worden. Anders kan het gebeuren dat de verkeerde diagnose gesteld wordt door de gebruiker.

Besturingssystemen zijn niet te certificeren. Het risico bestaat dat als je software-onderdelen samenbrengt in een gestandaardiseerd besturingssysteem, je de interactie-effecten niet kent. Kruseffecten vormen dan een risico op de integriteit van het systeem. Zeker bij software dat via open source ontwikkeld is kan dit een risico betekenen. 'Softwaremodules' hebben elkaar vaak erg nodig. Als er een module niet functioneert, wat is dan het effect op het andere systeem? Er is een standaard voor software en hardware modules in ontwikkeling. Denk aan modulaire grijpers, sensor systemen, navigatiemodules en/of

software. De modules moeten ook veiligheid en security ingebouwd hebben op systeemniveau om veiligheid in de toepassing van een modulair systeem te kunnen garanderen.

Mindware: menselijke fouten (handelingen) verkleinen

Het verkeert opstarten van de AGV vormt een risico op botsingen van AGV's. Een risico verhogende factor daarbij is het verlies van lading. Een voorbeeld van een risico met opstarten is het niet goed afstemmen van AGV-instellingen op de lading. Als het veiligheidsvlak van de sensor staat afgesteld op 120 mm kan een medewerker niet gezien worden als de vorken worden ingesteld om 2m. Door het niet aan- of afmelden van de AGV in een bepaald gebied, wordt de AGV in het overall systeem niet opgenomen en bestaat de kans dat deze niet gedetecteerd wordt. Een ander voorbeeld is dat een ander voertuig (uit gemakzucht of onbewust) door de operator in de route van de AGV geplaatst wordt.

De noodstop dient aan alle zijden geïnstalleerd te zijn om het hele AGV systeem stil te leggen of om andere AGV's door te laten gaan, indien de stilstaande AGV geen risico vormt voor de omgeving. Het scheiden van logistieke stromen door bijvoorbeeld het scheiden van logistieke gebieden is ook een oplossing. Hierin kan onderscheid worden gemaakt in manueel werk vs. geautomatiseerde processen, of tijdsgebonden (bijvoorbeeld tussen 9-13u geen manuele handelingen en tussen 17-22u raakvlakken). Dit zijn collectieve beheersmaatregelen die aanrijding voorkomt.

Andere interventies die in de omgeving van de AGV genomen kunnen worden zijn; in de buurt van het werkgebied stapvoets rijden (0,3m per seconde), Individuele beschermingen persoonsbeveiligingssystemen als een lijn op de vloer die markeert waar de werknemer niet mag en PBM zijn extra hulpmiddelen om een botsing te voorkomen en de gevolgen van een botsing te beperken. Het aanbrengen van hulpsymbolen kan daarbij het situationeel bewustzijn versterken. (Opzettelijke) overschrijding van werkgebieden kunnen tevens worden voorkomen door (handhaving van) voorgeschreven werkinstructies.

Geprogrammeerde routes zullen beveiligd zijn door een veiligheidspaswoord. Niet iedereen kan de cobot zomaar programmeren. Er wordt toegang verleend door de cobot en platformen door een unieke veiligheidscode. Bij montagewerk of het verhelpen van storingen kan de cobot uitgeschakeld worden met sloten (een fysieke sleutel of digitale codes), zodat men er zeker van kan zijn dat er geen spanning meer is.

De service engineer, zal voor aanvang van de werkzaamheden aan een AGV, deze altijd uit dienst nemen door een lock-out, tag out-procedure te hanteren. Dit betekent dat de AGV wordt uitgeschakeld of in manuele bediening wordt gezet en medewerkers en bezoekers hierover worden geïnformeerd.

Een training van een aantal dagen met de do's en don'ts en uitleg over werkinstructies in een combinatie van theorie, praktijk en een test (met een soort persoonscertificaat voor het met goed gevolg afleggen), zou situationeel bewustzijn en kennis over hoe te handelen in risicosituaties vergroten.

Door te '*persoonscertificeren*' borg je mede dat als er incidenten ontstaan, naderhand in de praktijk terugvallen kan worden op het feit dat er getraind is en dat men daarmee op de hoogte zou moeten zijn van hoe het systeem werkt.

Qua competenties en vaardigheden dienen een aantal voorwaarden gesteld te worden:

Gebruiker dient minimaal mbo werk- en denkniveau te hebben. Als je goed kunt werken met MS Outlook dan kun je ook een AGV-systeem beheren. Storingscodes moet de gebruiker kunnen begrijpen en oplossen. De gebruiker moet de 2D/3D navigatie programma kunnen bedienen; (groen= oké, oranje= storing, rood= probleem) en interesse hebben in de techniek.

Het transporteren van grote AGV's naar een veilige zone mag alleen geschieden door een getraind persoon. Zij moeten de risico's van dit proces kennen. Zichtbaarheid van wat de AGV gaat doen is daarbij essentieel.

Agressie

Verkeerd en oneigenlijk gebruik blijkt soms een risico dat vooral voorkomt bij de nachtploeg. Bewuste (of onbewuste) sabotage van de AGV (bijv. objecten in rijweg plaatsen, storingsmeldingen traag afhandelen) tot zelfs molest (bijv. vorken heftruck in AGV rijden). Om te voorkomen dat er molest plaatsvindt door medewerkers als gevolg van onvoorbereid zijn op het AGV-systeem dienen medewerkers vroegtijdig geïnformeerd te zijn over de implementatie van de systemen en dient er voldoende opleiding en voorlichting beschikbaar te zijn voor dag en avondploegen.

De veiligheidscultuur is een belangrijk onderdeel van bewust veilig gebruik van automatische systemen. De medewerker dient te worden opgevoed en geattendeerd op het gebruik van de AGV en de veiligheidsrisico's met betrekking tot werken met en in de omgeving van de AGV. Hoewel het probleem daarmee niet bij de bron wordt aangepakt, zorgt het scheiden van logistieke stromen op de werkvloer ervoor dat de mogelijkheid van obstructie van de AGV in algemene zin wordt beperkt. Als laatste redmiddel kan een camera op de AGV wellicht voorkomen dat medewerkers tot molest overgaan, omdat dit de dader detecteert. Er is dan vaak echter al een vertrouwensprobleem aanwezig dat opgelost dient te worden. Daarom dienen werknemers vanaf het begin van het automatiseringstraject met robots te worden meegenomen in de implementatiefase (commissioning fase). Hierdoor creëert management draagvlak en eigenaarschap bij de medewerkers.

Fysieke risico's en de voorspelbaarheid van mens-robot interactie displays

Bewuste contactmomenten met 'intended users' van de AGV treden vooral op tijdens onderhoud van storings. Voor de personen die (in de buurt) werken van AGV's is het niet altijd zichtbaar wat de AGV doet.

Lampen, lichtjes en een display zijn weliswaar aanwezig, maar voor sommige systemen bestaan er zo'n 350 foutcodes. Het aantal foutcodes en de complexiteit van het systeem maken het moeilijk voor de operator om de staat van het voertuig te bepalen. Bovendien kan door onvolledige terugkoppeling van de status van de AGV een foutieve diagnose worden gesteld door de gebruiker. Niet voor elke type storing is een uitgebreid signalement beschikbaar en opvolging gedefinieerd voor de gebruiker, terwijl veel van deze storings wel interactie vereisen tussen gebruiker en de AGV. Een veilige mens-robot interactie dient dan ook geborgd te zijn in het HRI-ontwerp met ergonomische interfaces.

Voorbeelden van risicoscenario's zijn bijvoorbeeld te vinden in de automotive industrie. Zodra de logistieke processen van de AGV autonoom verlopen, worden er in de software meer keuzevrijheden voor de AGV geprogrammeerd, waardoor er meer risico's kunnen

ontstaan tijdens mens-AGV-interacties. Als er bijvoorbeeld sprake is van oververhitting dan kan de AGV (voor efficiency) geprogrammeerd zijn om automatisch af te koelen. Als vervolgens de detectiegrens voor oververhitting weer bereikt wordt verdwijnt de foutstatus en hervat de AGV zijn taken.

Het snel wijzigen van deze situaties en een beperkte observeerbaarheid van status en gepland gedrag van de AGV voor de gebruiker kan in dat geval leiden tot ongevallen. In onderstaande figuur 4 is dit scenario weergegeven.



Figuur 4: scenario autostop

Een vergelijkbaar scenario geldt voor de elektromotor. De elektromotor wordt gevoed door een batterij die door een verbrandingsmotor met dynamo geladen wordt. Als de spanning van de accu laag is, gaat de verbrandingsmotor aan om de batterijen op te laden. Dit is een verschil in status van de AGV. Omdat de verbrandingsmotor niet draait, kan iemand zonder systeemkennis in dit geval kunnen aannemen dat de AGV is uitgeschakeld. Als de AGV echter weer in beweging komt doordat een minimaal energieniveau is bereikt kan dat leiden tot gevaren. Vooral als de zichtbaarheid van monteur en of AGV beperkt wordt, waardoor AGV en/ of mens de situatie niet kunnen inschatten. Er is dus interactie tussen omgeving en status van de AGV waardoor het des te belangrijker is onderscheid te maken in verschillende type statussen van storingen, die een andere oorzaak kennen (observeerbaarheid of mobiliteit bijvoorbeeld).

Indien er door de operator onvoldoende controle (kan) plaatsvinden op de status van de AGV, kunnen de geprogrammeerde processen, die onvoldoende gecommuniceerd worden naar gebruikers een risico vormen. Een heldere omschrijving hoe de AGV in bovengenoemde situaties werkt die gebruikers en andere werknemers begrijpen is daarom onontbeerlijk.

Door ervaring kan het zijn dat de gebruiker meer vertrouwen krijgt in de AGV, waardoor het situationele bewustzijn (dat de AGV onvoorspelbaar gedrag zou kunnen vertonen) afneemt (interactie). Door een fout in de programmeercode kan een AGV echter nog steeds 'verkeerd gedrag' gaan vertonen. De mate van vertrouwen heeft dan invloed op veilig gedrag in de interactie met de AGV. Het specificeren van de restrisico's (Risico's die niet in het ontwerp beheerst kunnen worden maar enkel in het werkproces), zal nodig zijn om te bepalen wat wel of niet dient te worden gecommuniceerd met de gebruiker. Bij communicatie over restrisico's moet overvloed aan informatie worden voorkomen.

Bij AGV's die zo geprogrammeerd worden dat ze kunnen 'auto resetten' (waardoor herstart automatisch mogelijk is) en zelf elektrisch weg kunnen rijden, wordt een potentieel risico voorgeprogrammeerd in de software. Eerst dient er een gemeenschappelijke visie ontwikkeld te worden over beheersing van de (arbeids)risico's als gevolg van systeemfouten en hoe de AGV hierover communiceert met zijn omgeving (gebruikers, passanten).

Voor HRI is het de uitdaging om een systeem te ontwikkelen die alle (risicovolle) statussen ondervangt en op een eenduidige (niet multi-interpretabele) wijze communiceert. Er dient dan in ieder geval goed nagedacht te worden over:

- *Een Veiligheid kritische interface*; Storingsklassen aanbrengen en een behapbaar aantal aspecten die gecommuniceerd dienen te worden.
- *'Redundancy'*. Als een signaal meer dan een keer wordt gepresenteerd, heeft het meer kans dat het goed begrepen wordt. Dit kan gedaan worden door het signaal in alternatieve fysieke vormen (bijvoorbeeld kleur en vorm, stem en afdruk, enz.) te presenteren, aangezien redundantie geen herhaling inhoudt. Een verkeerslicht is een goed voorbeeld van redundantie, omdat kleur en positie overbodig zijn.
- *Duidelijk onderscheid in verschuiving van modus*. Het moet in het interactieontwerp duidelijk zijn of de AGV aan het remmen is of gas geeft. Zodra de AGV in storting (geen actiemodus) en visa versa valt moet duidelijk zijn voor de gebruiker wat daarvan de oorzaak is en wat implicaties zijn voor de gebruiker (geen actiemodus).
- Een *human robot interface* (met gedetailleerde informatie voor onder meer 'debuggen') Ook de gebruiker (in dit geval monteur) moet geattendeerd worden op de risico's en onderscheid kunnen maken in onderstaande statussen:
 - o Is de AGV beperkt in zijn vrijheid (autonome stand) of niet?
 - o Wat kan/mag de AGV doen in de betreffende situatie?

De programmeur zou de mens (of het onderhoudsbusje) en situationele factoren in het overall logistieke AGV-systeem kunnen opnemen, zodat mens en omgeving onderdeel worden van het proces. Dit vergroot de zichtbaarheid van mens en AGV-interactie, waardoor risico's tijdiger kunnen worden gedetecteerd. Verschillende AGV's zijn op een andere manier ontworpen om fysieke risico's te voorkomen. Oplossingen zouden in dit verband universeler kunnen zijn, waardoor het situatiewaarschuwing bij de gebruiker voor het beheersen van arbeidsveiligheid in interactie met de AGV wordt vergroot.

4.2.3 Robot falen in de mens-robot-interactie

Artificiële intelligentie (AI)

De fase van Artificiële Intelligentie (AI) in de vorm van Machine learning heeft de interne logistiek nog niet bereikt. De verwachting is dat dit nog een aantal jaar zal gaan duren. De beslissingen die door een AGV met authentieke navigatie (gyroscop, gestuurd op traditionele X en Y-coördinaten) gemaakt kunnen worden staan in de software geschreven. Op deze manier beweegt de AGV enkel van A naar B op basis van voorgeprogrammeerde instructies. Er zijn wel nieuwe 'navigatie mapping technieken', die de AGV in staat stellen om een object te detecteren en zelf aanrijdgevaar te detecteren om vervolgens te besluiten linksom of rechtsom te gaan. Dit gebeurt bijvoorbeeld met SLAM en LiDAR.

De industriële AGV's zijn ook (nog) niet in staat om real time te leren door te waarnemen en communiceren. De mate van autonomie (die door het leren van de AGV wordt beïnvloed) wordt vooralsnog beperkt door de softwareprogrammering. Cobots en AGV's zijn ondergeschikt aan de mens en kunnen nog geen sturing geven aan processen. De AGV kan daardoor ook nog niet zijn eigen processen aanpassen. Bijvoorbeeld door een stap X1 over te slaan, te onthouden en later uit te voeren. Als er iets misgaat in het proces dan is het in veel gevallen nog altijd de werknemer of operator die de foutstoring moet verhelpen en de AGV weer handmatig vrijgeeft.

Risico's van autonome systemen met AI

Bij een voedingsprobleem kan een logistieke AGV vol in de remmen gaan. De AGV past zich aan op basis van de programmering. Zodra er meer algoritmes geprogrammeerd zijn is de AGV minder voorspelbaar. Of de gekozen oplossing juist is, is dan ook moeilijk te voorspellen. Bij cobots daarentegen is er al wel een nieuwe ontwikkeling gaande genaamd 'Teach by demonstration'. Deze veilige leermodus van bepaalde cobots, stelt de operator in staat om de cobot van punt A via punt B naar C te bewegen. Dit kan de cobot daardoor aanleren. Dit gaat nog niet zover dat ook zeer specifieke nauwkeurige handelingen gemodificeerd kunnen worden. Om bijvoorbeeld een grijper van de end-effector (uiteinde van de robotarm) dicht te doen moet de operator toch via de software de handeling programmeren.

Bij toepassingen van algoritmen in de automotive industrie wordt momenteel (met videoherkenning en snelheidsherkenning) herkenning van belijning en verkeersborden ontwikkeld. Deze informatie gaat naar een centrale database. Het verbeteren van de algoritmes wordt door de centrale computer gedaan.

Hierdoor zijn er nu zelflerende algoritmen, die op basis van de reeds verzamelde kennis is gemaakt. De algoritmen kunnen op basis van actuele informatie de snelheid van de auto aanpassen. De AGV is (nog) niet in staat om op een dergelijke manier risico's in te schatten. Het beperken van vrijheden voor de AGV is daarom nog steeds een belangrijke maatregel om veiligheidsrisico's te beperken.

AI en voorspelbaarheid van mens-robot interacties

Nu is bij 'palletisering' de diversiteit in de bewegingen van cobots nog beperkt en hoef je weinig bewegingsgraden te definiëren. De cobot wordt ingezet voor specifieke toepassingen (gedefinieerd op taak en doel) zoals bijvoorbeeld; palletisering, inpakken, lijmen van steenstrips op prefabwanden en navigatie-testsystemen. *Maar wat als systemen over machine learning gaan beschikken?*

De voorspelbaarheid van gedragingen van de cobot wordt dan een veel belangrijker onderwerp. Wat voor mensen een 'onvoorspelbare beweging' is, kan voor de cobot of AGV volstrekt logisch zijn, met risico's voor de arbeidsveiligheid tot gevolg. Een beperking van 'software' is, dat het moeilijk te definiëren en programmeren is wat onverwacht overkomt voor de mens die in de omgeving van AGV's of met de cobot samenwerkt. Risico is bovendien dat bij onvoorspelbaar gedrag van de AGV de mens onzeker wordt en vanuit die onzekerheid gaat anticiperen op onverwachte situaties. Onvoorspelbaarheid kan dus ook leiden tot onverwacht gedrag van de mens, met kans op hieruit voortvloeiende incidenten.

Een voorbeeld: Stel dat een cobot een doosje van A naar B verplaatst en daarvoor zes vrijheidsgraden heeft. De cobot wordt ingesteld om krachtig te zijn in de schouder en niet in andere gewrichten ('joints'). Bij kracht in de schouder is het voor de cobot wellicht efficiënt om het product gestrekt met een vlotte draai te verplaatsen (als dat meest efficiënt is), terwijl dat voor de mens een risico vormt met betrekking tot de impact (kracht op het lichaam als hij geraakt wordt). Bij het definiëren van een algoritme moet dus steeds rekening gehouden worden met de mensfactor in het proces. Niet alleen fysiek maar ook mentaal.

Belangrijke vragen die daarbij spelen zijn:

A) hoe bereid je de mens voor op onverwachte bewegingen? en

B) hoe houdt je daarbij je rekening met de veiligheid van mens/ robot interactie?

AI en Leren

AI zal een belangrijk onderdeel worden van robotsystemen.

Het leren bepalen wat slimme routes zijn zou je technisch bij AGV's afzonderlijk kunnen gaan integreren. Je zou ook een centraal AGV-station kunnen uitrusten met dit vermogen. De afzonderlijke AGV's zijn dan adaptieve systemen, die gestuurd worden door dit station. Het station biedt verbanden aan om voor (nieuwe relevante) situaties tot oplossingen te komen. Voordeel van een centraal systeem voor aansturen van AGV's is dat er dan minder communicatie tussen AGV en station nodig is. Het onderliggende systeem gaat dan gewoon door. Zie het als een regelsysteem met een 'commandant' (die strategische beslissingen neemt) met meerdere 'soldaten'. Dit bespaart ook een hoop energie. Als alles goed loopt is de intelligentie bij afzonderlijke systemen wellicht overbodig. De vraag is echter wie beslist of AI in een systeem zit dat overkoepelend werkt en communiceert met de AGV of in iedere AGV afzonderlijk?

4.2.4 **Wantrouwen op de werkvloer door (introductie) AGV**

Tijdens de workshop is nader ingegaan op wantrouwen in de AGV op de werkvloer. Wantrouwen bleek uit gesprekken namelijk (vooral) een potentieel risico tijdens de implementatie van de AGV te zijn. Ook wantrouwen als gevolg van negatieve ervaringen met de AGV kan een potentieel risico zijn met gevolgen voor het welbevinden van de medewerker. De deelnemers zijn bij het uitwerken van de bow-tie uitgegaan van de in tabel 6 genoemde dreigingen en gevolgen. 'Look and Feel' is door de deelnemers zelf toegevoegd.

Tabel 6. Scenario 1: wantrouwen in autonoom systeem.

Dreigingen	Gevolgen
Werking autonome systeem onduidelijk	Verminderde werksatisfactie
Beperkte communicatie AGV	Verbale of fysieke agressie
Niet gebruiksvriendelijke interface	Verminderde veiligheidsbeleving
'Look and Feel' integreren in ontwerp	Werkstress (in algemene zin)

Oorzaak

Volgens de deelnemers vloeit wantrouwen in het autonome systeem o.a. voort uit de angst voor arbeidsvervanging. De voorspelbaarheid van het gedrag van de AGV werd genoemd als belangrijke stimulans in het veroorzaken van het wantrouwen.

Preventieve maatregelen in de ontwerpfase

Het management moet vanaf het begin open en transparant zijn over hun plannen om een AGV-systeem te gaan implementeren in het bedrijf. Dit voorkomt dat er wantrouwen ontstaat bij medewerkers en angst om hun baan te verliezen op termijn. Door werknemers vanaf het begin mee te nemen in de planvorming vergroot dit het draagvlak in operations en voorkomt dit problemen in de gebruiksfase. Aandacht hiervoor zou het gevoel van eigenaarschap kunnen vergroten, door de werknemers mee te nemen in het ontwikkelproces, maar ook door voldoende informatie te geven en een stem in beslissingen die genomen worden over ontwerp en functionaliteiten van de AGV.

De ISO 9241 geeft volgens de deelnemers input hoe een AGV-systeem samen met de eindgebruiker veilig te bouwen is. Het optimaliseren van AGV-functies door het toepassen van een mensgericht ontwerp als gebruikersinterface voorkomt verwarring over de status en intenties van de AGV. Het aanbrengen van een routing na overleg met werknemers over het routeringsplan, stimuleert draagvlak en acceptatie van de AGV tijdens implementatie. Foutinformatie en routeplan zouden bijvoorbeeld visueel gecommuniceerd kunnen worden aan de werknemer die samenwerkt met de AGV.

Ieder AGV-systeem moet fysiek en cognitief ergonomisch goed in elkaar steken en bij voorkeur voor iedere toepassing op maat moeten worden gemaakt. Een gebruiksvriendelijke interface, die de handelingen van de AGV weergeeft, kunnen bijdragen aan het situatie bewustzijn van de medewerker waardoor juiste beslissingen genomen worden door de medewerker in deze situaties.

Een 'aibaar ontwerp' zou kunnen helpen om het gebruik en de benaderbaarheid van de AGV te vergroten. Met een aibaar ontwerp worden in dit geval bijvoorbeeld rondingen bedoeld in het uiterlijk van de AGV en kenmerken die de 'menselijkheid' vergroten/nabootsen.

Geluidsoverlast mag ook geen risico opleveren (De AGV's in de gezamenlijke vloot moeten gezamenlijk met alle andere aanwezige machines in een werkzone niet de geluidsnormen overschrijden), een vriendelijk geluidssignaal om de mens te waarschuwen zou wenselijk zijn.

Preventieve maatregelen in de commissioning fase

Door ook een testprotocol toe te passen in de 'commissioning fase' van de implementatie van het AGV systeem bij de eindgebruiker zou de onzekerheid ten aanzien van de werking van het autonome systeem weggenomen kunnen worden bij de werknemers. Dit resulteert mogelijk in meer vertrouwen in het systeem.

Procedureel zou van tevoren gespecificeerd moeten worden in welke ongewenste situaties medewerkers de AGV (manueel) mogen sturen (overrulen, in hun beslissingen). Op deze manier worden risico's als gevolg van onverwachte beslissingen die het systeem (kan) nemen beheerst.

Het software algoritme voorprogrammeren op (bekend) onvoorspelbaar gedrag van de mens (i.c. engineers en monteurs) dan wel het mogelijk maken dat de AGV dit gedrag zelf kan duiden en zijn eigen gedrag hierop aanpast op basis van een zelflerend algoritme (soort 'deep learning'). Via de interface zou dan idealiter datgene wat de AGV heeft geleerd transparant moeten worden gecommuniceerd aan de werknemer. Hierdoor wordt de

voorspelbaarheid vergroot en wordt eveneens de mogelijkheid om (bij) te sturen door de menselijke operator vergroot.

Preventieve maatregelen in de gebruiksfase

Opleiding en training in de aspecten en risico's met de AGV zou een vereiste moeten zijn. De kennis wordt door sommige systeem integratoren zelfs getoetst met een examen. En bij afronding met goed gevolg levert dat een persoonscertificaat op. Het naleven van periodieke inspecties op de systemen is ook genoemd als belangrijke beheersmaatregel om het vertrouwen in de integriteit van het systeem te behouden. De floormanager (operationsmanager) of fleet manager zou het proces van risicobeheersing voor de veilige interactie met de AGV op de werkvloer kunnen bewaken. (Hij zou bijvoorbeeld audits en periodieke management walk arounds kunnen verrichten).

Herstelmaatregelen in de gebruiksfase

Het laten wennen aan de AGV door het systematisch te laten ervaren door medewerkers vormt een belangrijk onderdeel om wantrouwen die is ontstaan door de onverwachte komst van de AGV te reduceren. Deze ervaring met de AGV zou kunnen worden opgedaan door het inzetten van '(serious) gaming' of 'Augmented Reality' (AR) toepassingen. Werknemers zouden daarmee getraind kunnen worden in het hanteren van de functionaliteiten van de AGV in een veilige omgeving (d.w.z. dat medewerkers fouten kunnen maken zonder echte gevolgen). Dit zou in een vroeg stadium wantrouwen ook kunnen voorkomen omdat je daarmee werknemers stapsgewijs meeneemt in de werking van het systeem.

Het wantrouwen door samenwerkings-ervaringen met de AGV zou tijdens functioneringsgesprekken aan de orde moeten kunnen komen. Inbreng van medewerkers ten aanzien van stress reducerende maatregelen dient dagelijks serieus te worden genomen. Een goede incidentanalyse zou de aspecten van wantrouwen (PSA) en de gevolgen daarvan mee moeten nemen. Ten aanzien van herstelbeheersmaatregelen die genoemd werden waren de workshopdeelnemers het erover eens dat het belangrijk is om de mens en personeelszaken (HR) te betrekken in het herstelproces van wantrouwen en de gevolgen die zijn ontstaan.

4.2.5 Botsing van een traditionele machine met de mens

Een van de kennisvragen betrof het vergelijken van een traditioneel arbeidsmiddel met twee autonome systemen. De twee autonome systemen waarvoor is gekozen zijn de AGV van vandaag en de AGV van de toekomst. Voor de traditionele machine gelden een aantal vergelijkbare dreigingen als bij de AGV. Omgeving interface, besturing en opleiding vormen belangrijke doelvoorschriften daarbij.

Bij de AGV is de automatisering een additionele dreiging op zich die in paragraaf 4.2.6 botsing met de AGV aan de orde komt. Onderstaand zijn de barrières voor een veilige beheersing van traditionele machines (i.c. niet autonome machine die rijden en door de mens bestuurd worden zoals de vorkheftruck, stapelaars, reachtruck, etc.) samengevat in een aantal doelvoorschriften, waarmee het management aanrijdrisico's dient te beheersen.

Het aanwezig zijn van een adequate infrastructuur is een belangrijke omgevingsfactor die door de organisatie gefaciliteerd dient te worden.

Werkafspraken en signalen, die de positionering van de medewerker ten opzichte van de vorkheftruck veilig stelt is een belangrijke organisatorische beheersmaatregel. Visueel en Audio – Visuele systemen en contact maken met de omstanders tijdens het rijden zijn daarbij stimulerende voorwaarden.

Het motiveren, alert maken van medewerkers over de risico's van vorkheftruck gebruik, moet door het managementsysteem ten alle tijden gefaciliteerd worden.

De prestatiedoelen van het management teneinde een adequate infrastructuur te realiseren dienen uitgewerkt te zijn. Daarbij dient het management zorg te dragen voor kennis en competentie voor medewerkers om hun taken goed uit te voeren.

Het management moet de juiste prioriteiten stellen tussen veiligheid en andere bedrijfsdoelstellingen. Ook zichtbare locatie en positionering van voertuigen, besturing en bediening en het gedrag waarbij gebruikers zich aan de juiste snelheid houden dient te worden gefaciliteerd door het management.

4.2.6 Botsing van de AGV met de mens

Tijdens de workshop is nader ingegaan op botsing van de AGV met de mens.

De deelnemers zijn bij het uitwerken van de bow-tie uitgegaan van in tabel 7 genoemde dreigingen en gevolgen. IMPACT door snelheid en crushing is door de deelnemers zelf toegevoegd.

Tabel 7. Scenario 2: botsing met mens

Dreigingen	Gevolgen
Ongewenste software output	Gewonden
Kapotte Sensor	Doden
Onverwachte route	Calamiteiten en reputatieschade
Verkeerde manoeuvre (mens of AGV)	Werkstress
IMPACT door snelheid en crushing	

De preventieve beheersmaatregelen in de ontwerpfase:

Een 'botsveilig ontwerp' is vanzelfsprekend een belangrijke barrière voor het voorkomen en beperken van schade aan de mens. Ketenbeheer en risicomanagement in de keten is daarbij tevens van belang. Dit zorgt er namelijk voor dat alle partijen over de geldende wet en regelgeving en risico's op de hoogte zijn. Over de ontwerpmaatregelen werd in de workshop het volgende gezegd: Veiligheidsafstanden staan in de norm EN 349. Een Kinect 3d sensor helpt mensen die op de route tijdig te herkennen. Ook het toepassen van Redundant⁶⁵ sensoren in het technisch ontwerp werd aanbevolen.

De SLAM-techniek (Simultaneous Localisation And Mapping), zorgt ervoor dat de AGV 'realtime' zijn omgeving kan voorspellen, deze adequaat hierop kan plannen en zijn 'veilige' route vervolgens kan volgen. Alarmering/ stopsysteem voor slipsituaties. De zonering van de werkomgeving dient rekening te houden met geschoold of ongeschoold gebied.

⁶⁵Duplicatie van kritieke onderdelen of functies van een systeem met de bedoeling de betrouwbaarheid van het systeem te verhogen, meestal in de vorm van een back-up of fail-safe of om werkelijke systeemprestaties te verbeteren.

De RIE van de leverancier is maatgevend voor de Performance Level (A t/m E) ⁶⁶ van het product. Voor het beheersen van de manoeuvres van de AGV, dient de veiligheid-PLC ervoor te waken dat een 'afwijking' in de beweging of richting door de AGV onterecht genegeerd wordt. Programmeerfouten kunnen beheerst worden door een (in ontwikkeling zijnde) ISO-norm die speciaal gericht is op het beheersen van veilige software.

De preventieve beheersmaatregelen in de commissioningfase:
Risico's in de omgeving door uitstekende items en door vallende ladingen (payloads) dienen beheerst te worden door housekeeping en protocollering voor stapeling (een pallet stapelplan). De risico's in de omgeving van de AGV dienen al voor de commissioningfase geïnventariseerd te zijn in een RIE.

De preventieve beheersmaatregelen in de gebruiksfase:

Iedere wijziging in het AGV-systeem moet door een centraal operationeel verantwoordelijke, een zogeheten 'fleet manager' gemanaged worden. Er dient door de fleet manager een training of opleiding te worden geboden aan alle medewerkers over het werken met AGV's in de werkomgeving. Voor het beheersen van risico's als gevolg van lekkage of obstakels op de weg, dient ook een 'orde en netheid (housekeeping) protocol' beschikbaar te zijn gesteld door het management. Een scanner zou 3d of zelfs 4d moeten kunnen scannen om onvoorziene problemen met ongelijke ondervloeren te beheersen.

Een AGV die ondanks de aanwezige (rand)apparatuur en software niet wordt ingeperkt in zijn beweging, kan als gevolg van een verkeerde manoeuvre ook onverwacht tot stilstand komen. Dit kan in combinatie met een noodsituatie risicovolle situaties opleveren. Men dient daarom bedacht te zijn van de nut en noodzaak van een aangepast nood- en calamiteitenprocedure. Zowel BHV-team als fleet manager dienen hiervan op de hoogte te zijn.

Indien AGV's normatief toelaatbaar zijn in gemeenschappelijke ruimtes, dienen de onbewuste bezoekers bijvoorbeeld geïnformeerd te worden over bestaande huisregels. Daarbij geldt tevens dat hoe voorspelbaarder de route van de AGV voor de werknemer, hoe minder kans dat de werknemer onverwacht gedrag gaat vertonen waar de AGV (nog) niet op berekend is. De intentie van de AGV zou dus duidelijk herkenbaar moeten worden gemaakt in een goed interactieontwerp. Duidelijke signalen zoals markeringen in de omgeving kunnen daarin opgenomen worden. Er dient sowieso voldoende ruimte in de inrichting te zijn om de cobot of mens te laten uitwijken.

Een andere dreiging die bijdraagt aan het bots (of knel) gevaar is de verandering van vracht die niet gebeurt conform de ontwerpeisen. Het creëren van een bewustzijn bij bedrijven dat verandering van belading (bijv. meer tonnage, andere producten) gevolgen heeft voor de veilige interactie tussen mens en cobot is een belangrijk aspect dat bijvoorbeeld in diverse werkinstructies genoemd zou kunnen worden.

⁶⁶ Dit is een minimale standaard voor een robotsysteem die moet worden gehaald voordat het geschikt is voor een bepaalde toepassing.

Door het tonen van de ernstige gevolgen van verkeerde manoeuvres van de AGV waarbij aanrijding met de medewerkers ontstaat, maakt de medewerkers bewust van de ernstige gevolgen, wat ertoe kan leiden dat medewerkers hun gedrag gaan aanpassen (veiliger gedrag gaan vertonen).

Herstelmaatregelen bij botsing met de mens

Herstelmaatregelen die de schade als gevolg van 'botsing met mens' verminderen hangen samen met een snelle respons van verantwoordelijke personen. Niet alleen zou de engineering afdeling (van de leverancier) 24/7 operationeel beschikbaar moeten zijn om de AGV te herstellen. Ook zou deze leverancier zorg moeten dragen voor goed voorraadbeheer van onderdelen. In geval van andere risico's als een 'cyber attack' moeten gebruikers zo snel mogelijk de rest van het systeem veilig (buiten werking) stellen (i.c. de 'stekker eruit trekken').

Ter voorkoming van knelgevaar na botsing is een pushback knop of een pull bar een technische ontwerpmaatregel waardoor de AGV achteruit gaat in zijn beweging. Lokalisatie-gps met alarmering (zoals bij Volvo), vergroot de traceerbaarheid bij incidenten en calamiteiten waardoor EHBO'ers en of BHV'ers snel ter plaatse kunnen zijn om te assisteren. Er dient open communicatie te kunnen zijn met medewerkers en HR/HSE over de oorzaak van incidenten. De AGV zou voor het gemak uitgerust kunnen zijn met BHV en EHBO-materieel en informatie wat te doen bij een noodsituatie.

Als nazorg dient professionele verwijzing voor slachtoffers en omstanders van (ernstige) ongevallen of calamiteiten te worden geboden. Er kan worden nagedacht over diverse vormen van aanrijdbeveiligingen. Bij de medewerker zou op hoogte van de enkel bijvoorbeeld een stalen versteviging gemaakt kunnen worden op de veiligheidsschoen (mits dit niet consequenties heeft voor breekbaarheid van de enkel).

4.2.7 Wat verwachten de deelnemers van de workshop dat er anders zal worden als AGV's zelflerende systemen worden (effecten van AI)?

Een keerzijde van zelflerende systemen is dat dit ook onvoorspelbaarheid en complexer gedrag bij de AGV kan creëren. Met oog op de toekomstige lerende AGV is waarschijnlijk het voornaamste probleem dat (geavanceerde) Artificiële Intelligentie algoritmen niet meer te testen (zullen) zijn. Het verdient daarom aanbeveling om een leerprocedure te implementeren in de test- en ontwikkelingsfase van de AGV, zodat op een relatief beheerste manier in kaart kan worden gebracht hoe en welk gedrag de robot leert, hoe hij zich aanpast over tijd en wat hiervan de consequenties zijn in relatie tot de samenwerking met de werknemer.

Nu is de robot geprogrammeerd op lineaire actie-reactie met zijn omgeving. In de toekomst zal er bij de ontwikkeling van (zelflerende) algoritmen meer interpretatie van intenties van de mens door de robot moeten komen. Voor diverse beïnvloedingsfactoren in de omgeving van de AGV, zoals muren, beweegbare objecten, zal moeten worden onderzocht welke acties en bestemmingen het systeem calculeert. Als robots (in de toekomst) in staat zijn om elkaar zonder menselijke inmenging belangrijke lessen te leren over hoe de veiligheid en de effectiviteit (van het samenwerken met de mens) verder te vergroten, kan dat mogelijk een efficiency-voordeel opleveren.

In dit onderzoek worden afzonderlijke risicofactoren geïdentificeerd – De relatie tussen risicofactoren is echter ook belangrijk en zal over tijd veranderen. In simulatieprogramma's zullen de uitkomsten van 'use case scenario's' moeten worden meegenomen. Door training, 'deep learning' en Virtual Reality (VR): waarbij de mens in de simulatieomgeving gebracht wordt kunnen deze 'use cases' vormgegeven worden: Dit gebeurt al bij defensie met autonome robots.

5 Conclusie

Het doel van dit rapport was om een inventarisatie te maken van de arbeidsveiligheidsrisico's en bijbehorende beheersmaatregelen in relatie tot de cobot. Dit is gedaan door middel van een literatuurscan, interviews en een workshop: Daarmee zijn de volgende kennis vragen beantwoord:

- 1: *'Welke cobotsystemen met een gradatie van autonomie zijn reeds beschikbaar of te verwachten in de nabije toekomst?'*
- 2: *'Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen en wat zijn beheersmaatregelen?'*
- 3: *'In hoeverre zijn bestaande technieken voor de analyse en beheer van risico's bruikbaar in werksituaties waarin meer autonome robotsystemen worden ingezet of zijn hiervoor aanvullende aanpakken noodzakelijk?'*

In onderstaande worden de conclusies voor de kennisvragen per paragraaf beschreven.

5.1 **Welke cobotsystemen met een gradatie van autonomie zijn reeds beschikbaar of te verwachten in de nabije toekomst'**

De robotindustrie maakt met een enorme snelheid een opmars in diverse arbeidsdomeinen (van zorg tot maakindustrie). Dit geldt ook voor cobots en AGV's, die zich voornamelijk van andere industriële machines onderscheiden omdat zij zich op de werkvloer tussen andere medewerkers gaan bevinden. Tijdens de literatuurscan en de interviews die voor dit rapport zijn uitgevoerd, zijn meerdere type cobots en AGV's naar voren gekomen die toepasbaar zijn voor de interne logistiek. In bijlage B is een overzicht opgenomen van cobots en AGV's die in de interne logistiek kunnen werken. De cobots als genoemd in de bijlage zien we nog niet veel op de werkvloer, maar zullen steeds meer hun intrede gaan doen in het arbeidsproces. Daarbij is de verwachting dat systemen steeds intelligenter en autonomer zullen worden wat zijn neerslag heeft op de effecten die hierin tot uiting zullen komen. Zie hiervoor onderstaande paragraaf.

5.2 **Wat zijn de te verwachten of al tot uiting gekomen effecten van deze systemen op de daadwerkelijke (arbeids- en proces) veiligheidsrisico's zoals die optreden in industriële omgevingen?'**

Risicobeheersing van (nieuwe) gevaren van cobots grijpt in op meerdere niveaus van de levenscyclus waarin diverse partijen een verantwoordelijke bijdrage leveren:

- Het onderzoek en ontwikkeling (het ontwerp en software van de cobots), - Hier ligt een belangrijke verantwoordelijkheid voor de ontwerper van de robot.
- In de programmering (commissioning), die afgestemd moet zijn op de rol en taakvervulling van de cobot in het arbeidsproces – Hier ligt een belangrijke taak en

verantwoordelijkheid voor de systeemintegratoren. Ook psychosociale arbeidsfactoren zijn hier interessante aspecten om te onderzoeken.

- Beheersing van de cobot in relatie tot het operationele proces op de werkvloer (Hier ligt een belangrijke taak en verantwoordelijkheid voor werkgever die de zorgplicht heeft voor de arbeidsveiligheid en gezondheid van medewerkers in het arbeidsproces).

Te verwachten risico's in relatie tot de AGV en cobot

Ten aanzien van de resultaten met betrekking tot kennisvraag 2 kan geconcludeerd worden dat risico's voor arbeidsveiligheid complexer worden. De arbeidsrisico's zijn het gevolg van interactie-effecten tussen robot- mens en omgeving. Afhankelijk van de taken, Artificiële Intelligentie op het gebied van observeren, voorspellen, en sturen van de AGV kan de AGV autonoom functioneren in bepaalde situaties. De AGV wordt daarbij gefaciliteerd door capaciteiten van de mens en de organisatie, die de AGV daarbij ondersteunt. Ook de AGV en de toekomstige cobot zullen op hun beurt (naarmate zij slimmere systemen worden) de mens dienen te ondersteunen op momenten waar mens-robot-omgeving interacties daarom vragen.

In onderstaande tabel 8 zijn de risico's opgenomen.

Tabel 8. Risico's per fase van de levenscyclus

Fase	Risico	Beschrijving
Ontwerp (bron)	Gevaarlijk (autonoom) gedrag	(1) In leren zit een risico dat niet meer herleidbaar is wat de AGV geleerd heeft. (2) Calamiteiten met AGV's leiden tot verschillende risico's, afhankelijk van het type calamiteit. (3) Verkeerde werking van de software kan tot risicogedrag van de AGV leiden. Ook verkeerde (onverwachte) manoeuvres door de AGV kunnen leiden tot risico's voor omstanders.
	Mens-Robot Interactie	(4) Lerende systemen hebben geen kennis van mens-robot-interactie effecten.
Ontwerp (collectief)	Ergonomie	(5) Onduidelijk status van AGV kan tot misinterpretaties leiden bij gebruiker. (6) Beperkt of verkeerde communicatie door AGV kan een risico zijn voor het gebruikersgemak en kan situatiewaarschuwing beperken. (7) Een niet ergonomische gebruikersinterface kan onveilig gedrag stimuleren.
	Gevaarlijke substanties	(8) Accu's van cobots bevatten gevaarlijke zuren waar monteurs aan blootgesteld kunnen worden.
	Hijzen en bewegen	(9) Als routes van AGV's wijzigen kan dit leiden tot aanrijdgevaar.
	Psycho- sociale factoren	(10) Onverwachte introductie van AGV's op de werkvloer kan leiden tot ongewenst gedrag, waaronder vernieling.

Fase	Risico	Beschrijving
Configuratie/Introductie (collectief)	Gevaarlijk (autonoom) gedrag	(11) Bij het in bedrijfstellen van een machine kunnen gevaren optreden indien er onvoldoende eisen zijn gesteld aan de implementatie. (12) Met oog op de toekomstige lerende AGV is het voornaamste probleem dat (geavanceerde) Artificiële Intelligentie (AI) algoritmen niet meer te testen (zullen) zijn.
	Psychosociale factoren	(13) Indien medewerkers onvoldoende betrokken worden bij de introductie van autonome systemen op de werkvloer, kan dit leiden tot PSA-risico's en een verminderd vertrouwen in de AGV.
	Omgeving	(14) Indien in de omgeving te veel gevaren aanwezig zijn vergroot dat het risico dat informatie door de mens of AGV gemist wordt, hierdoor ontstaan risico's voor de medewerkers.
Gebruik (collectief)	Gevaarlijk (autonoom) gedrag	(15) Als er onvoldoende afspraken zijn gemaakt door wie en wanneer programmering mag worden aangepast, ontstaan er risico's in de programmering, die niet meer herleidbaar zijn. Dit heeft gevolgen voor de medewerker die met de AGV werkt. (16) Het niet verifiëren van de software updates kan ertoe leiden dat men onterecht in de veronderstelling is dat de AGV werkt volgens de nieuwe update.
	Gevaarlijk contact hijsen en bewegen	(17) Ontwerpfouten die worden ontdekt in de gebruiksfase. (18) Verminderd zicht door AGV kan risico's veroorzaken voor gevaarlijk contact.
	Manueel gebruik	(19) Bij verkeerd opstarten van de AGV in termen van af/ aanmelden en laadvermogen/capaciteit/verhouding kan dit risico opleveren voor transport. (20) Onduidelijke werkafspraken over bijsturing van AGV (manuele interventies) kan gevaarlijk zijn voor mens-robot-interactie.
	Omgeving	(21) Indien in de omgeving te veel gevaren aanwezig zijn vergroot dat het risico dat informatie door de mens of AGV gemist wordt, waardoor risico's ontstaan voor de medewerkers. (22) Risico's in de omgeving door vallende lading (payloads) of uitstekende voorwerpen of obstakels op de route kunnen risico voor mens en AGV opleveren.
	Onderhoud	(23) Geen duidelijke afspraken of follow-up van de leverancier bij defecten aan het AGV-systeem vergoot kans op arbeidsrisico's voor medewerkers. Een tijdige en adequate response van de leverancier op momenten dat er storing aan het AGV-systeem is, voorkomt het risico op ernstige incidenten. (24) Het ontbreken van een (ver)sleutelplan in het risicobeheersplan brengt ongewenste risico met zich mee voor vrijkomen van energie.
	Psychosociale factoren	(25) Werkdruk is een risico voor de gezondheid en welzijn van de medewerker (PSA).
	BHV-ongevallen en noodprocedure	(26) In geval van incidenten en calamiteiten dienen gepaste herstelmaatregelen genomen te worden om de kans op ernstige gevolgen te voorkomen.
	Cognitieve ergonomie	(27) Indien de taal onduidelijk is voor de operator leidt dat tot onduidelijkheid en verschillen in interpretatie.

Fase	Risico	Beschrijving
Gebruik (individueel)	Competentie	(28) Incompetente medewerkers die AGV's onderhouden kunnen risicovol gedrag vertonen tijdens gebruik en onderhoud. (29) Indien risico's niet continu gemonitord en gemanaged worden, bestaat de kans dat het AGV-systeem niet meer integer kan functioneren.
	Gevaarlijk contact tijdens mens-robot interactie	(30) Risico is dat bij moeilijk te voorspellen gedrag van de AGV, de mens onzeker wordt en vanuit die onzekerheid gaat anticiperen op onverwachte situaties.

Beheersmaatregelen in relatie tot de AGV

Het principe van inherent veilig ontwerpen zou volgens de geïnterviewden ook bij autonome systemen leidend moet zijn. Dit zou blijvend de doelstelling voor toekomstige ontwikkeling moeten zijn, waardoor risicobeheersing verder in de keten een minder prominente rol inneemt.

Uit paragraaf 3.1 blijkt dat er veel normen bestaan voor een veilig ontwerp van machines en cobots. De sociale en ergonomische interactie-effecten van robotinteractie, blijven echter nog tamelijk onderbelicht. Toch blijken uit diverse theorieën uit de literatuur over mens-computer-interactie, en mens-robotinteractie, diverse interactievariabelen van belang te zijn. Deze variabelen houden ook verband met een aantal risicobeheersmaatregelen, die in de interviewgesprekken worden genoemd. In de interviews maar ook uit resultaten van de workshop blijkt dat studies naar de effecten van MRI een aanvulling kunnen zijn, waardoor medewerkers beter worden voorbereid op het samenwerken met cobots en AGV's en daarmee de veiligheid in het arbeidsproces.

Maatregelen die door de geïnterviewden reeds worden voorgesteld voor de huidige praktijk hebben niet alleen betrekking op fysieke veilige toepassingen in het robotontwerp. Ook adresseren zij het stimuleren van (indirecte) interactie via verbeterde hardware en software interfaces en een verbeterde cognitieve interactie via gebaren, spraak of audiosignalen om het situationeel bewustzijn te vergroten en een veiligere werkomgeving om in te werken te realiseren.

Daarnaast worden er maatregelen voorgesteld waarop organisaties hun werkprocessen beter kunnen inrichten op de komst van deze nieuwe robotsystemen. In onderstaand tabel 9 zijn de belangrijkste genoemde beheersmaatregelen ondergebracht. In de tabel is het onderscheid tussen mens en cobot (met AI) -omgeving en de organisatie in de titel van de kolommen weergegeven. Voor een uitgebreider overzicht van risico's en risicobeheersmaatregelen wordt verwezen naar Bijlage D: resultaten interviews en workshops.

In relatie tot AI kan gezegd worden dat de huidige AGV's in de interne logistiek nog niet over machine learning capaciteiten beschikken. We kunnen op basis van het huidige lerend vermogen van AGV's nog onvoldoende zeggen over risico's en risicobeheersing van zelflerende AGV's, die beschikken over machine learning algoritmen. 'Machine learning', levert daarmee nieuwe uitdagingen. Sommige geïnterviewden stellen dat als semi-autonome robots meer bewegingsvrijheden hebben, hun gedrag voor de buitenwereld moeilijker te controleren is. De snelheid van handelen van de robot heeft daarbij ook invloed op de mogelijkheid van ingrijpen. Het vertrouwen van de mens in de robot is daarbij gebaseerd op

beeldvorming en ervaring. Een onjuist hoog vertrouwen (“de robot ziet me wel”) kan tot risicovol gedrag leiden, terwijl een onjuist laag vertrouwen tot acceptatieproblemen kan leiden. Workshopdeelnemers bevestigen het idee dat op basis van het uiterlijk en gedrag, ook menselijke eigenschappen aan robots toe gedacht worden. In tabel 9 zijn de in de resultaten van de interviews en workshop genoemde beheersmaatregelen opgenomen.

Tabel 9. Overzicht risicobeheersmaatregelen in samenwerking met de cobot.

	Beschrijving
Ontwerp (bron)	<ul style="list-style-type: none"> (1) Inperken van de leercapaciteiten. (2) In softwareprogramming rekening houden met calamiteiten. (2) Calamiteiten met AGV's afstemmen met RI&E en het calamiteitenprotocol. (3) Zet een veiligheidsbeheerssysteem om het besturingssysteem heen, zodat de 'core veiligheidseisen' geborgd zijn. (4) Bij lerende systemen bij programming rekening houden met de invloed van de mens, op veiligheid van mens- robot-interactie. (4) In simulatieprogramma's waarbij de mens in de simulatieomgeving wordt gebracht veiligheidsfactoren als training, kennis van team en organisatie meenemen.
Ontwerp (collectief)	<ul style="list-style-type: none"> (5) Betekenis van storingsklasse (redundancy en advisering over 'debuggen' aanbieden). (5, 6) Een interface ontwikkelen die alle (risicovolle) statussen ondervangt en op een eenduidige (niet multi-interpretabele) wijze communiceert. (6) Ontwikkelen gestandaardiseerd (en gevalideerd) communicatieprotocol voor AGV-interactie met gebruikers voor optimale gebruikerservaring. (7) Mens en omgeving in de interface van het logistieke systeem van de AGV zichtbaar maken. (7) Innovatieve ergonomische toepassingen van cobots integreren bij interface AGV's en visa versa. (SMART pad interfaces zouden met elkaar kunnen worden vergeleken). (8) Accu plaatsen in een gescheiden ruimte van de rest van het systeem (scheiden van functies). (9) Geprogrammeerde routes beveiligen door een veiligheidspaswoord, zodat deze niet zomaar gewijzigd kan worden door ongeautoriseerde gebruikers. (10) Voorkomen van vernieling door camera op de AGV te plaatsen.
Configuratie/Introductie (collectief)	<ul style="list-style-type: none"> (11) Handhaven van 3 stoplichtmodel: Voldoet het product aan de gestelde aankoopnormen? Is de keuring bij inbedrijfstelling zichtbaar? Is er een spanningscontrole uitgevoerd en is er aantoonbaar training uitgevoerd? (12) Leerprocedure implementeren in de test- en ontwikkelingsfase van de AGV, zodat op een relatief beheerste manier in kaart kan worden gebracht hoe en welk gedrag de robot leert, hoe hij zich aanpast over tijd en wat hiervan de consequenties zijn in relatie tot de samenwerking met de werknemer. (13) Werknemers vanaf het begin meenemen in de besluitvorming en implementatie om draagvlak en eigenaarschap te creëren. (13) Aspecten van wantrouwen (PSA) op incidenten meenemen in incidentanalyses. (14) Het scheiden van logistieke stromen door bijvoorbeeld scheiden van logistieke gebieden (manueel werk vs. geautomatiseerde processen) of tijdzones (bijv. tussen 9-13u geen manuele handelingen en tussen 17-22u raakvlakken).
Gebruik (collectief) Gebruik (individueel)	<ul style="list-style-type: none"> (15) Een 'Management of Change procedure' moet voorwaarden stellen aan het proces om softwarewijzigingen door te voeren, waardoor veranderingen herleidbaar zijn en opvolging te geven aan de gevolgen daarvan. (16) Effect van software updates bij meerdere types of versies van AGV's testen, om gewenste universele output vast te stellen. (17) Ketenmanagement; 'lessons learned' en 'best practices' teruggeven aan de ontwerper en visa versa, intern en delen met sectoren, om universele veilige systemen door te ontwikkelen. (18) Toepassen van (redundant) sensoren in het technisch ontwerp.(bijv., 3d of 4d camera en sensoren, een noodstop, of verbrekkerem).

	Beschrijving
	<p>(19) Duidelijke werkafspraken voor juist af en aanmelden van AGV's in een bepaald gebied.</p> <p>(19) Afstellen van materieel op detectiezone van de AGV (bijvoorbeeld met de vorken van vorkheftruck).</p> <p>(20) Protocollering met verantwoordelijkheden voor manueel gebruik: Wie in bepaalde situaties mag 'overrulen' (bij incidenten en calamiteiten gelden andere afspraken).</p> <p>(21, 22) Een omgeving moet voldoende ruimte beiden om uit te wijken (zowel voor de AGV als voor de mens).</p> <p>(21, 22) Procedure voor orde en netheid, met daarin de situationele factoren waarop gelet kan worden.</p> <p>(23) Een snelle respons van de engineering afdeling (en van de leverancier) om het incident met/ storing van de AGV op te lossen.</p> <p>(23) In geval van een cyber attack moet men zo snel mogelijk de rest van het systeem veilig (buiten werking) stellen.</p> <p>(23) Goed voorraadbeheer van vergankelijke onderdelen (door de leverancier) versneld een effectieve follow-up.</p> <p>(24) Uitschakelen van de cobot gebeurt met sloten (sleutel of codes), zodat er geen spanning meer is (bijv. wachtwoordbeleid).</p> <p>(25) Door de AGV raakt de medewerker een rustfactor kwijt. Het risico op tempo-dwang zou gemonitord kunnen worden door de AGV/cobot. De AGV kan hier vervolgens feedback over geven aan de operator.</p> <p>(26) Een 'push back' knop of 'pull bar', die de AGV 'terug duwt'.</p> <p>(26) Lokalisatie gps helpt EHBO en BHV-personeel mensen snel ter plaatse te zijn, wanneer dit gekoppeld is aan het calamiteiten meldingssysteem.</p> <p>(27) AGV op taal (her)programmeren, afhankelijk van de gebruiker, zodat het voicepicking systeem door de gebruiker wordt begrepen, waardoor interpretatie en sturing door de operator makkelijker wordt.</p>
Gebruik (individueel)	<p>(28) Persoonscertificeren' competenties: mbo werk en denkniveau; Ervaring met MS Outlook; storingscodes kunnen begrijpen en oplossen; 2d/3d navigatieprogramma kunnen bedienen; interesses in de techniek (Intelligentie AGV; rem, besturing, motor); risico's grote AGV's en mobiele platformen. De nachtploegen dienen dezelfde opleiding te volgen als de dagploeg medewerkers.</p> <p>(29) Het aanstellen van een fleet operator (bij AGV's) die verantwoordelijk is voor algehele beheer en incidentmanagement van de (AGV) vloot</p> <p>(30) Programmeer vanuit de perceptie van de mens in het interactieve ontwerp met als doel de AGV zo voorspelbaar mogelijk te houden.</p> <p>(30) In simulatieprogramma's zullen veiligheidsfactoren moeten worden meegenomen, als training, kennis van team en organisatie, 'deep learning' en Virtual Reality (VR). Hierbij wordt de mens in de simulatieomgeving gebracht.</p> <p>(30) Medewerkers veiligheidsbewust maken over risico's van mens-robot interactie door het tonen van instructiefilmpjes.</p>

5.2.1 In hoeverre zijn bestaande technieken voor de analyse en beheer van risico's bruikbaar in werksituaties waarin meer autonome robotsystemen worden ingezet of zijn hiervoor aanvullende aanpakken noodzakelijk?

Een belangrijk resultaat dat uit de interviews naar voren is gekomen, is dat de RI&E die bedrijven gebruiken voor het identificeren van de risico's en effecten bij het introduceren van AGV's op de werkvloer de indeling van de levenscyclus zou kunnen bevatten. Door daarnaast keteninitiatieven op elkaar aan te sluiten ontstaat een integrale beheersing van de arbeidsrisico's in de keten van producent tot het moment van afbraak en recycling bij de klant.

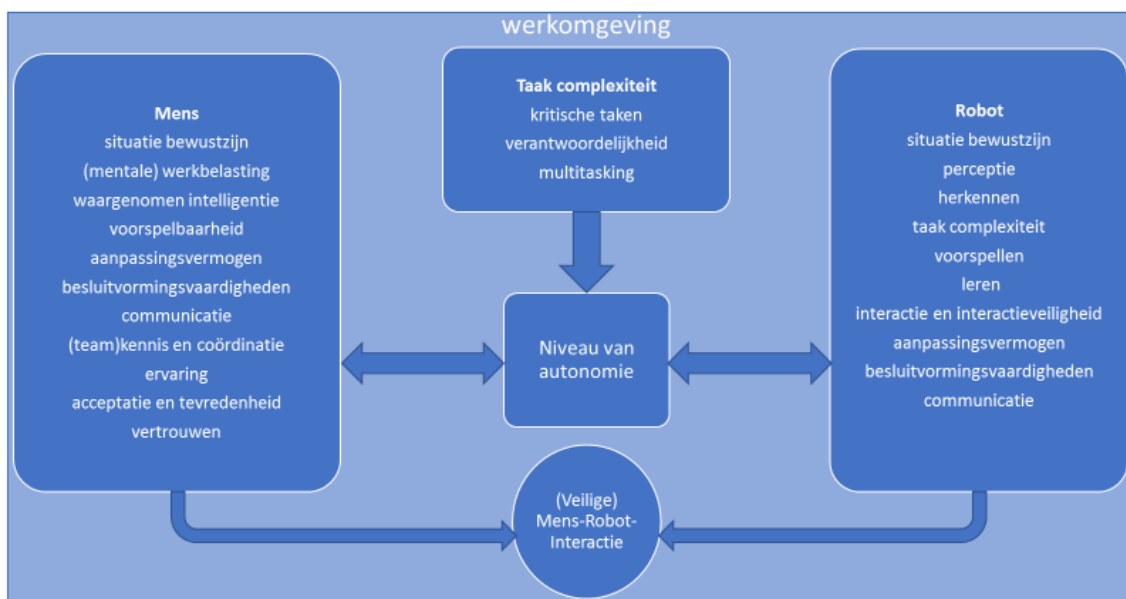
Verandering van werkomgeving is een factor die daarbij continu gemonitord zou moeten worden, om te zien of het ontwerp nog wel geschikt is om in de gewenste werkomgeving veilig toe te passen.

Een risicobeoordelingsmethode voor cobot-mens systemen zou namelijk moeten voldoen aan de volgende eisen:

1. Toepasbaar vanaf het begin van het ontwikkelingsproces (ontwerp) tot en met het gebruik (beheer).
2. Gaat uit van de menselijke activiteit als bron van gevaar (afwijkingen)
3. Houdt rekening met niveau van autonomie of 'slimheid' van cobot (capaciteiten).
4. Richt zich hoofdzakelijk op operationele gevaren als gevolg van inzet van cobot (taken) en interacties met de mens en omgeving.

Op basis van de literatuurstudie lijkt de HAZOP-methode geschikt als risico identificatie techniek voor robot veiligheid analyse. De HAZOP is toepasbaar in zowel ontwerp (design) als gebruik ('as built'). En tevens toepasbaar op risico's van niet-fysiek-technische installaties, zoals beoordeling van procedures (bijvoorbeeld handelingen) als voor complexe processen (bijvoorbeeld batch processen). Daarnaast combineert de HAZOP-methode het voorspellende en het operationele onderzoek. De methodiek is gericht op het ontdekken van invloeden die de cobot verhinderen de beoogde functie (of taak) strikt te vervullen zoals geprogrammeerd. Tenslotte kan de methode worden uitgebreid met systeemmodellering taal zoals UML (Unified Modeling Language) die specifiek is ontwikkeld als risico-analyse techniek voor mens-robot interacties.

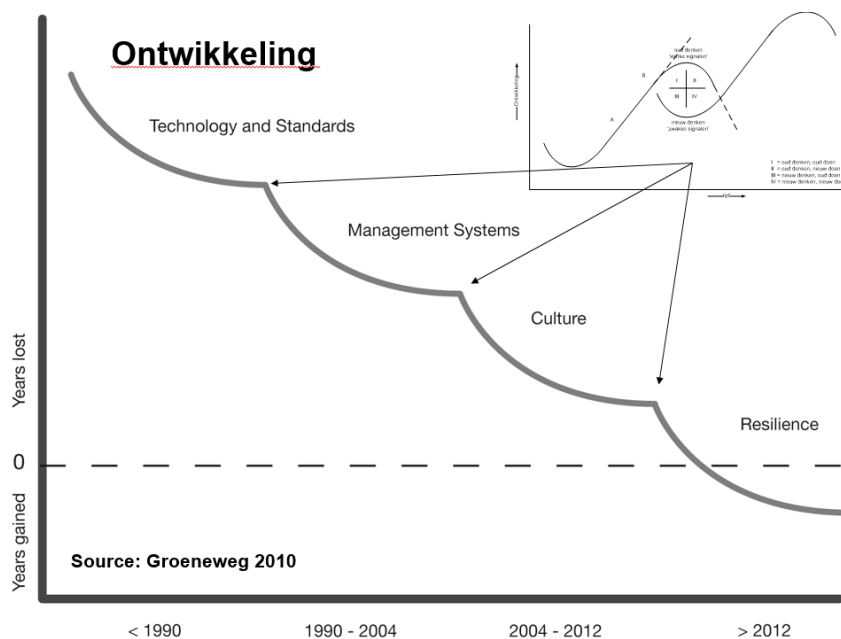
Naast bovenstaande bestaande methodieken, is in dit rapport ook een raamwerk opgesteld op basis van relevante factoren uit de literatuur. Dit raamwerk kan in de toekomst helpen bij het uitvoeren van risico-analyses voor het ontwerp, maar ook tijdens de implementatie van een cobot in het arbeidsproces of in de gebruiksfase. Het onderstaande raamwerk figuur 5 zou in een usecase gebruikt kunnen worden om bepaalde factoren te meten.



Figuur 5: Factoren voor (veilige) mens-robot interactie

6 Discussie

Onze werkomgeving wordt als gevolg van AI en autonomie een steeds complexer systeem van omgeving van mens, techniek en organisatie. Hierbinnen ontstaan meer interactie-effecten⁶⁷ en worden oorzaak-gevolgrelaties van incidenten non-lineair. Dit introduceert een geheel andere manier van veiligheidsdenken en aanpak⁶⁸. In onderstaande figuur 6 uit Groeneweg (2010) is af te leiden hoe het veiligheidsdenken sinds de jaren 90 is veranderd en sindsdien vier verschillende paradigma's heeft doorlopen. In dit verband wordt door TNO sinds 2012 hard gewerkt aan het ontwikkelen van 'resilience strategieën' die werknemers en managers kunnen toepassen tijdens onverwachtse situaties om een beheerst niveau van veiligheid te handhaven (Grotan en anderen, 2017)⁶⁹.



Figuur 6: Ontwikkeling van veiligheidsparadigma's

De beperkingen van nieuwe paradigma's worden niet gemakkelijk herkend. Kuhn (2012, p. 113) stelt hierover: "What a man sees depends both upon what he looks at and also upon what his previous visual-conceptual experience has taught him to see".

⁶⁷ Kuhn T.S., (2012). The structure of scientific revolutions - 50th anniversary edition, University of Chicago Press, Chicago.

⁶⁸ Zwetsloot, G.I.J.M., Gallis, (2017). The need for a paradigm shift as a root cause of accidents and disasters, safety (in review).

⁶⁹ Grøtan, T. O., Wærø, I., van der Vorm, J. K. J., van der Beek, F. A., & Zuiderwijk, D. C. (2017). Using gaming and resilience engineering principles to energize a situated resilience training of front-end operators and managers. In: Walls, L., Revie, M. & T. Bedford (eds): Risk, Reliability and Safety. Innovating Theory and Practice. CRC Press. Taylor & Francis Group

Paradigmaveranderingen kunnen daardoor automatisch een complex proces zijn (Kuhn, 2012).

Het veranderen van paradigma's als gevolg van nieuwe digitale technologieën als robotisering hangt in dit geval vooral samen met technologische innovaties rondom Artificiële Intelligentie (AI). De complexe algoritmen, die de robot gebruikt om te leren, brengt zeer moeilijk te voorspellen interactie-effecten van mens-techniek en organisatie met zich mee. In dit verband dient het aanbeveling om al voor de aanschaf van cobots deze complexe interacties mee te nemen in diverse (ethische) afwegingen met betrekking tot de inzet van cobots in het arbeidsproces.

In samenwerking met cobots zullen samenwerkende teams een prominente rol gaan vervullen. Er zijn diverse literatuurstukken te vinden over teamsamenstelling, teamsamenwerking en teamtraining met cobots⁷⁰. De studies naar teamsamenstelling waren echter te specifiek in relatie tot de onderzoeksvragen. Desondanks dienen de factoren en effecten van mens-cobot teams verder te worden bestudeerd. Hierdoor kan meer inzicht worden verkregen in de positieve effecten van teamsamenwerking op veilig werken met cobots. Een veilige samenwerking in mens-cobot teams kan worden gereguleerd door formele "policies" te implementeren in organisaties^{71,72}. Deze normatieve regels zijn gegrond in een formele kennisrepresentatie van aan veiligheid gerelateerde concepten, waaronder mensaspecten (zoals werklast en situatiewaarneming), robotaspecten (zoals situatiewaarneming) en omgeving (zoals afstand en naderingssnelheid tussen twee objecten). Kenmerkend voor deze policies is het volgende:

1. Policies schrijven voor welke acties uitgevoerd moeten worden onder specifieke condities (d.w.z. de start- en stopcondities) en maken daarbij een adequate afweging van veiligheidsrisico's met de gerelateerde mitigatie-acties. Dit kunnen algemeen geldende regels zijn (bijv. snelheid minderen in nabijheid van mensen) en instelbare regels (bijv., in gang A gaat de cobot langzamer rijden met een waarschuwingssignaal, omdat daar momenteel werkzaamheden plaatsvinden).
2. Policies hebben een verschillend gewicht, afgestemd op de veiligheidsrisico's (consequenties). Over de tijd kunnen deze policies geleerd worden en geïmplementeerd in de organisatie. Via observaties op het werk (veldonderzoek) en via simulaties kan onderzocht worden in hoeverre het systeem met verschillende veiligheidsrisico's om kan gaan.

⁷⁰ Gombolay, M. C., Gutierrez, R. A., Clarke, S. G., Sturla, G. F., & Shah, J. A. (2015). Decision-making authority, team efficiency and human worker satisfaction in mixed human-robot teams. *Autonomous Robots*, 39(3), 293-312.

⁷¹ Neerincx, M. A., van Diggelen, J., & van Breda, L. (2016, July). Interaction design patterns for adaptive human-agent-robot teamwork in high-risk domains. In *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 211-220). Springer International Publishing.

⁷² Harbers, M., Aydogan, R., Jonker, C. M., & Neerincx, M. A. (2014, May). Sharing information in teams: giving up privacy or compromising on team performance?. In *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems* (pp. 413-420). International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

Tot slot zien we in dit verband in de toekomst ook de toepassingen voor digitalisering toenemen⁷³. Met behulp van geavanceerde trainingssimulatie-programma's, die gefaciliteerd kunnen worden met Augmented Reality (AR) zullen meer mogelijkheden ontstaan voor teamtraining, als ook voor het testen van gebruikerservaringen en trainen van mens-cobot teams. Met deze technieken kunnen medewerkers voorbereid worden op het samenwerken met cobots in de baas zijn tijd.

Met dit onderzoeksrapport wordt alvast een eerste raamwerk gemaakt van cobot-mens-interactie variabelen die de basis gaan vormen voor de ontwikkeling van een mens-robot-omgeving interactiemodel, waarmee een modelgebaseerde risico-analyse van cobotsystemen mogelijk wordt. Door realistische en accurate simulatiemodellen van de werkelijkheid te gebruiken wordt het tevens mogelijk om in het ontwerpstadium van de robot al voorspellingen te doen op basis waarvan de software van de robot met al zijn competenties, beter getest kan worden.“ Daarnaast is er met het onderzoek naar risico's en beheersmaatregelen in dit rapport een nieuwe kenniskaart ontwikkeld, die bedrijven kan helpen en inspireren over mogelijke nieuwe risico's en hoe deze te beheersen bij het implementeren van cobots op de werkvloer.

⁷³ Michalos, G., Makris, S., Tsarouchi, P., Guasch, T., Kontovrakis, D., & Chryssolouris, G. (2015). Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces. *Procedia CirP*, 37, 248-253.

A Appendix: Protocol interviews

Introductie en opening van gesprek (1 min).

1. *Huidige context uitvragen (10-15 min)*
 - a. Wat is uw achtergrond met betrekking tot cobots
 - b. Met welk type cobots (AGV's) werkt u?
 - c. In welke werkprocessen binnen uw bedrijf wordt er gewerkt met een cobot/ AGV?
 - d. Welke cobot innovaties zijn voor uw bedrijf (op lange termijn) interessante ontwikkelingen?
 - e. Welke toepassingen van cobots op de werkvloer kent u nog meer? In welke context worden deze ingezet?
 - f. Welke toepassingen van cobots in andere sectoren en/ of branches kent u?
2. *Specifieke kenmerken en capaciteiten van de cobot/ AGV (15 min)*
 - a. Werkt de cobot in de omgeving van de werknemer? (Kunnen ze elkaar raken?)
 - Hebben zij gemeenschappelijke taken? Zonder elkaar kunnen ze de taak niet vervullen (coöperatieve robots).
 - Hebben zij gemeenschappelijke doelen? Zonder elkaar kunnen ze het doel niet bereiken (cobotisering).

Voor de cobot die samenwerkt met de mens:

- a. Herkent de cobot de werknemer en zijn (voorzien en onvoorzien) acties? – observability.
 - b. Kan de cobot (rest-)risico's in de context (situatie, mens, omgeving) inschatten – predictability.
 - c. Kan de cobot eigen processen zelf stoppen of aanpassen – directability.
 - d. Hoe beïnvloedt de cobot de mens? Om bijvoorbeeld een stap achteruit te doen – directability.
 - e. Hoe kan de cobot communiceren (bijvoorbeeld om een stap achteruit te nemen (non)-verbaal) – directability.
 - f. Is de cobot zelflerend – bijv. de cobot zet een stap achteruit omdat de werknemer meer afstand nodig heeft om veilig te kunnen werken.
 - g. In welke mate past de cobot zich aan als hij met werknemers in zijn directe omgeving werkt? (Adaptability skill, MAR p202).
 - h. Hoe beïnvloedt de cobot de mens in werksituaties waarin hij met de mens samenwerkt? (Interaction ability, MAR p205- HRI feedback).
 - i. Hoe communiceert uw cobot/ AGV met de gebruiker? (interaction ability p205- HRI feedback).
 - j. Hoe herkent de cobot/ AGV zijn omgeving en de objecten en of mensen die hierin participeren? (Perception, MAR p).
3. *Specifieke kenmerken en capaciteiten van de werknemers die met cobots samenwerken (15 min)*

Perspectief vanuit de werknemer. Is de mens in staat tot (human-cobot interactie)?

- a. Hoe is de cobot met zijn (voorziene en onvoorziene) acties te herkennen? – observability.
- b. Hoe zijn de effecten van (rest-)risico's in de context (situatie, mens, omstandigheden) op het functioneren van de cobot in te schatten? – predictability.
- c. Is de cobot te stoppen/ dan wel aan te passen? – directability.
- d. Hoe kan de mens de cobot beïnvloeden? Om bijvoorbeeld een stap achteruit te doen – directability.
- e. Hoe kan de mens (non-)verbaal met de cobot communiceren (bijvoorbeeld om een stap achteruit te nemen – beïnvloeden).
- f. Kan de cobot (direct op de werkplek) worden geherprogrammeerd door de werknemer? – bijv. cobot ik wil dat je voortaan 50cm van mij af stopt in plaats van 30 cm – autonomie.

4. Veiligheid van mens-cobot interacties in uw bedrijf (15 min)

- a) Hoe is de veiligheid ten aanzien van de mens-robot interactie geborgd in uw bedrijf?
- b) Hoe is de mate van autonomie (sturing vs. zelfsturing / leiding vs. volgen) van de cobot hierin begrenst? - directability
- c) Wat zijn de voornaamste gevaren voor de arbeids-/persoonlijke veiligheid van werknemers?
- d) Hoe vaak komen er gevaarlijke situaties met betrekking tot cobots voor in uw bedrijf/ sector? Bent u bekend met (bijna)ongelukken in uw bedrijf of sector / zijn hier gegevens over te verkrijgen?
- e) Welke veiligheidsbeheersmaatregelen worden er genomen (technisch, softwarematig, organisatorisch, PBM/ Denk aan de [arbeid hygiënische strategie](#))?
- f) Welke veiligheidsmaatregelen ontbreken er naar uw idee?
- g) Wat is de preferente risicomangement strategie/ aanpak om de risico's m.b.t. mens-cobot interacties te beheersen (lifecycle benadering, certificatie, verzekeren, etc.)?
- h) Wordt er voldoende gecommuniceerd en gerapporteerd over potentiële arborisico's in relatie tot het samenwerken tussen mens en cobots? Hoe zou dit kunnen worden verbeterd?
- i) Zijn er werkafspraken gemaakt tussen cobot en de werknemer gebaseerd op:
 - Specifieke inzet van de cobot in tijd en ruimte, taak en doel?
 - Zijn er contexten (met situatie, mens, (omgevings)omstandigheden) gedefinieerd waarin de cobot wel of absoluut niet mag samenwerken (in 'fall safe mode' / 'abort mode' moet, bijvoorbeeld bij calamiteiten of ongevallen?
 - Zijn er afspraken gemaakt welke medewerkers met de cobot mogen werken?
 - Zijn er afspraken gemaakt welke medewerkers aan de cobot mogen werken? (opleiding/kennis en ervaring)?

Afsluiting (1 min)

Dit is een eerste verkennend gesprek geweest. Zouden wij op een later tijdstip eventueel nogmaals contact mogen opnemen voor verdere verdieping? We denken aan alle geïnterviewden een preview op ons rapport te geven en daarop uw reactie te vragen.

Dank u voor uw medewerking, het eindresultaat is een rapportage die het SZW gaat helpen het bewustzijn op het gebied van cobots en risico's voor arbeidsveiligheid te vergroten. Mogelijk dat het rapport wordt gepubliceerd. Wilt u dat we uw bijdrage anoniem houden?

Bij dezen wil ik u alvast uitnodigen voor onze workshop 18 oktober. U bent van harte welkom en we zullen u hiervoor z.s.m. nader informeren. De formele uitnodiging zal in augustus worden verstuurd.

B Appendix: Cobot en AGV systemen in de interne logistiek

DHL beschrijft in hun white paper: 'Robotics in Logistics: A DPDHL Perspective on implications and use cases for the logistics industry' een aantal toepassingen van magazijnrobots in hun werkprocessen⁷⁴, die hieronder worden opgesomd.

1: Proces laden en lossen (goederen ontvangst)

De Parcel Robot bestaat uit een chassis, telescoop, lopende band, een 3d laser scanner en een artificiële robotarm met grijper. Met de laserscanner worden alle dozen gescand. Een geïntegreerde computer analyseert de afmetingen en bepaalt op basis daarvan de optimale uitlaad volgorde. Vervolgens wordt deze op de transportband gezet die de vracht transporteert. De DHL robot gebruikt goedkope camera's om dozen te lokaliseren en complexe software stelt de beste manier vast om dozen van verschillende afmetingen te stapelen om de trailer optimaal te vullen zonder items te beschadigen.

2: Proces 'Order picken'

De Kiva AGV van Amazon pikt goederen op door een hele kar naar de orderpicker te brengen die het product eruit te pakken. Karren wisselen elkaar op die manier zeer snel af. Deze techniek levert een vijftig procent besparing op van werkcapaciteit door orderpicken. De SSI Schaefer Robo-Pick is een vergelijkbaar systeem ontwikkeld door Knapp and Viastore.

I AM Robotics is een klein bedrijf die eenarmige AGV's ontwikkelt, die met behulp van camera navigeert in het magazijn en producten van planken pakt zoals een medewerker dat zou doen. Het systeem is in staat om test orders van veertig items te onderscheiden die het nog nooit heeft gezien.

Picking robot TORU is een perceptie gedreven mobiele magazijnrobot voor intralogistiek die gebruik maakt van 2D en 3D camera's. Deze technologie identificeert individuele objecten in schappen, pakt het object en plaatst het daar waar het moet zijn. TORU werkt naast mensen, voor het tijdig leveren van objecten naar de werk of verscheppingsstations.

3 Proces inpakken

Rethink Robotics heeft Baxter ontwikkelt die over een aantal functionaliteiten beschikt: Baxter is een collaboratieve robot ontworpen om veilig met mensen te werken. Zijn armen zijn van plastic; Hij heeft veren bij zijn gewrichten en sensoren op zijn armen om te stoppen met bewegen als het iets raakt. Een sensor in zijn hoofd zorgt ervoor dat het afremt als er medewerkers in zijn buurt zijn. Met behulp van 3 camera's identificeert hij objecten. Een medewerker kan de robot trainen om een beweging uit te voeren door zijn armen te pakken en hem te begeleiden door een simpele taak. Hierdoor leert de cobot de taak om het toe te passen.

⁷⁴ Bonkenburg (2016), Robotics in Logistics: A DPDHL Perspective on implications and use cases for the logistics industrie

AGV en AGV types

Definitie: *Een automated guided vehicle (AGV) is een mobiele robot die markeringen, lijnen magneten of lasers volgt op de werkvloer, om van A naar B te verplaatsen*⁷⁵.

Onderstaand een overzicht van voorbeeld AGV systemen in de interne logistiek⁷⁶

1. Vorklift en Klemmen AGV systemen

Vorklift AGV systemen worden voor verschillende toepassingen gebruikt:

- ladingen van receptie naar productie/magazijn transporteren
- opslag (smalle gangen, deepstacking, blokstapeling, opslag in rekken)
- bufferopslag
- end-of-line toepassingen: ontvangen van rollenbanen, palletiseerders, wikkelmachines
- laden / lossen van vrachtwagens
- transport tussen productie en magazijn

Klemmen AGV's hebben klemmen voor de behandeling van dozen, rollen en ladingen die niet op pallets staan. Klem AGV's kunnen deze ladingen met dezelfde omzichtigheid en flexibiliteit behandelen als AGV's met vorken.



2. Smallegange trucks

Smallegangentrucks of very narrow aisle AGV's (VNA) worden ingezet voor automatische goederenbehandeling en opslag in smalle gangen van magazijnen.

3. Geautomatiseerde Mobiele transportvoertuigen

- Geautomatiseerde transportsystemen voor vervoer van zware containers en transportsystemen (o.a. treinen, vliegtuigen.)
- Magazijn AGV's die snel grote hoeveelheden pallets met lading kan verplaatsen met omnimove technologie.

⁷⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle

⁷⁶ http://www.egemin-automation.nl/nl/automation/logistieke-automatisering_ha-oplossingen_agv-systemen/agv-modellen

4. Trekker AGV's

Trekker AGV's zijn automatisch geleide voertuigen die niet aangedreven karretjes met ladingen vooruit trekken. Trekker AGV's worden voornamelijk gebruikt als transportmiddel tussen verschillende magazijnen op grote industriële sites. Dit is mogelijk dankzij de unieke multimode navigatietechnologie op dezelfde trekker AGV. Automatisch transport met trekkervoertuigen leidt tot meer efficiënte operaties en zorgt voor rustiger verkeer met minder dieseltrucks.

Elke AGV heeft een vaste set van achtereenvolgende stopplaatsen waar operators goederen en karretjes kunnen toevoegen of afnemen alvorens de AGV naar zijn volgende stopplaats te zenden. De lijst van stopplaatsen is vrij te kiezen en kan steeds eenvoudig opnieuw worden geconfigureerd.



5. Transfer AGV's

- Transfer AGV's zijn AGV's ontworpen om ladingen te verplaatsen met een hoge capaciteit tussen werkstations in productieomgevingen of tussen magazijnen en productie.
- Ze communiceren met rollenbanen, eindlijnsinstallaties (palletiseerders, wikkelmachines, robots) en automatische magazijninstallaties (magazijnkranen) om ladingen te kunnen behandelen.

6. Rollerbanen

Rollerbaan transfersystemen zijn geconfigureerd voor het transport en het overbrengen van pallets (hout, verpakt, niet verpakt), rekken, kisten, rollen, containers, eenheidsladingen, enz. Automatisch geleide voertuigen kunnen ook voorzien worden van een toppress om onstabiele ladingen te behandelen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- Rollenbanen (een, twee of vier posities op een of twee niveaus).
- Kettingtransporteurs (een, twee of vier posities).
- Hefplatforms.
- Transportbanden.
- Shuttlesysteem.
- Push-pull systemen met stationaire rollen.

C Appendix: HAZOP-UML

type	Trefwoord (procesvariabele)		
	Capaciteit cobot	Niveau [1-4]	Human-Robot-Interactie (oplopend in niveau)
1 sturen	Mate van autonomie	1	handmatig
		2	semi-automatisch
		3	interactief
		4	volledig autonoom
2 observeren	Mate van perceptie (omgeving wa	1	aanwezigheid mens/object
2 observeren	Mate van herkennen van ...	2	herkenning mens/object
		3	beweging mens/object
		4	eigen beweging cobot gevaaren
3 voorspellen	Mate van kunnen voorspellen (mens, object, zichzelf)	1	zintuiglijk/sensoren
		2	obv kennis van omgeving
		3	van eigen beweging
		4	effect van eigen beweging
	Mate van taak complexiteit	1	enkele simpele taak
		2	meerdere taken/actieplan
		3	complexe taken
4 beïnvloeden	Mate van interactie - mens-cobot - sociale interactie - interactie veiligheid	1	intrinsiek veilig basis (operator) veiligheid
		2	fysieke barrières gebruiker detectie
		3	werkplek detectie reactieve veiligheid
		4	dynamische veiligheid
5 (bij)sturen	Mate van zelfsturing (falen situatie of eigen gedrag)	1	herkennen
		2	aanpassen
		3	communiceren
		Mate van samenwerken	1
	2		taakuitvoering beïnvloeden gezamenlijk doel en strategie bep
	3		aanpassen gedrag cobot obv direc
	4		aanpassen gedrag cobot obv obse
6 leren	Mate van leren (van de cobot)	1	informereren bewegen
		2	gevaaren herkennen
		3	anticiperen
		4	anticiperen + communiceren

Node nummer:	1.0								
Taak:	vakken vullen								
nr.	afwijking	oorzaak	gevolgen		beveiligingen	beoordeling			actie
	(gids-/trefwoord)	(scenario)	(use case effect)	(real world effect, gevaren)	(systeem reacties / HRI)	Kans	Effect	Risico	(verplicht indien hoog risico)
1	geen/niet - volledig autonoom	besturing faalt	- cobot reageert niet op commando - cobot is onbestuurbaar	- vularm van cobot raakt mens - 1 persoon zwaargewond	fail safe ontwerp noodstop knop	2	4	8	extra sensor op vularm van cobot plaatsen
		geen stroom	- cobot stop beweging - blijf stilstaan	- cobot blokkeert pad - hinder voor omgeving - aanrijding	storingslampje op cobot	3	1	3	
2	sneller/langzamer - volledig autonoom	besturing faalt	cobot-arm gaat sneller dan bedoeld	- vularm van cobot raakt mens hoge snelheid - letaal letsel 1 persoon	...	2	5	10	neem op in handleiding
		verkeerde instelling				
7	evenals - beweging mens/object	misinterpretatie van cobot van beweging van mens	cobot maakt onverwachte beweging	cobot-arm raakt mens	...				persoonlijk bescherming (PBM)

D Appendix: Resultaten interviews en workshop

In onderstaande tabellen wordt een samenvatting gegeven van de resultaten die tijdens de interviews en de workshop zijn verkregen. De eerste tabel geeft een overzicht van de genoemde arbeidsrisico's gesorteerd naar de productlevenscyclus fase waarin ze kunnen optreden. De tabel daarop geeft de maatregelen weer die genoemd zijn om deze risico's te beheren. Deze beheersmaatregelen zijn gesorteerd aan de hand van de eerder genoemde risico's.

	Risico	Beschrijving
Ontwerp (bron)	Gevaarlijk (autonoom) gedrag	(1) In Ieren zit een risico dat niet meer herleidbaar is wat de AGV geleerd heeft. (2) Calamiteiten met AGV's leiden tot verschillende risico's, afhankelijk van het type calamiteit. (3) Verkeerde werking van de software kan tot risicogedrag van de AGV leiden. Ook verkeerde (onverwachte) manoeuvres door de AGV kunnen leiden tot risico's voor omstanders.
	Mens-Robot Interactie	(4) Lerende systemen hebben geen kennis van mens-robot-interactie effecten.
Ontwerp (collectief)	Ergonomie	(5) Onduidelijk 'status van AGV kan tot misinterpretaties leiden bij gebruiker. (6) Beperkt of verkeerde communicatie door AGV kan een risico zijn voor de gebruikersgemak en situatiewaarschuwing beperken. (7) Een niet ergonomische gebruikersinterface kan onveilig gedrag stimuleren.
	Gevaarlijke substanties	(8) Accu's van cobots bevatten gevaarlijke zuren waar monteurs aan blootgesteld kunnen worden.
	Hijsen en bewegen	(9) Als routes van AGV's wijzigen kan dit leiden tot aanrijdgevaar.
	Psychosociale factoren	(10) Onverwachte introductie AGV's op de werkvloer kan leiden tot ongewenst gedrag, waaronder vernieling.
Configuratie/Introductie (collectief)	Gevaarlijk (autonoom) gedrag	(11) Bij het in bedrijf stellen van een machine kunnen gevaren optreden indien er onvoldoende eisen zijn gesteld aan de implementatie. (12) Met oog op de toekomstige lerende AGV: het voornaamste probleem is dat (geavanceerde) Artificial Intelligence algoritmen niet meer te testen (zullen) zijn.
	Psychosociale factoren	(13) Indien medewerkers onvoldoende betrokken worden bij de introductie van autonome systemen op de werkvloer, kan dit leiden tot PSA risico's en een verminderd vertrouwen in de AGV.
	Omgeving	(14) Indien in de omgeving te veel gevaren aanwezig zijn vergroot dat het risico dat informatie door de mens of AGV gemist wordt, hierdoor ontstaan risico's voor de medewerkers.
Gebruik (collectief)	Gevaarlijk (autonoom) gedrag	(15) Als er onvoldoende afspraken zijn gemaakt door wie en wanneer software mag worden aangepast, ontstaan er risico's in de programmering, die niet meer herleidbaar zijn. Dit heeft gevolgen voor de medewerker die met de AGV werkt. (16) Het niet verifiëren van de software updates kan ertoe leiden dat men onterecht in de veronderstelling is dat de AGV werkt volgens de nieuwe update.
	Gevaarlijk contact hijsen en bewegen	(17) Ontwerpfouten in de gebruiksfase. (18) Verminderd zicht door AGV kan risico's veroorzaken voor gevaarlijk contact.
	Manueel gebruik	(19) Verkeerd opstarten van de AGV in termen van af / aanmelden en laadvermogen/capaciteit/verhouding kan dit risico opleveren voor transport. (20) Onduidelijke werkafspraken over bijsturing van AGV (manuele interventies) kan gevaarlijk zijn voor mens-robot-interactie.

	Risico	Beschrijving
	Omgeving	(21) Indien in de omgeving te veel gevaren aanwezig zijn vergroot dat het risico dat informatie door de mens of AGV gemist wordt, waardoor risico's ontstaan voor de medewerkers. (22) risico's in de omgeving door vallende ladingen (payloads) of uitstekende voorwerpen of obstakels op de route kunnen risico voor mens en AGV opleveren.
	Onderhoud	(23) Geen duidelijke afspraken of follow-up van de leverancier bij defecten aan het AGV-systeem vergoot risico voor medewerkers. Een tijdige en adequate response van de leverancier op momenten dat er storing aan het AGV-systeem is, voorkomt het risico op ernstige incidenten. (24) Het ontbreken van een (ver)sleutelplan in het risicobeheersplan brengt ongewenste risico met zich mee voor vrijkomen van energie.
	Psychosociale factoren	(25) Werkdruk is een risico voor de gezondheid en welzijn van de medewerker (PSA).
	BHV-ongevallen en noodprocedure	(26) In geval van incidenten en calamiteiten dienen gepaste herstelmaatregelen genomen te worden om de kans op ernstige gevolgen te voorkomen.
	Cognitieve ergonomie	(27) Indien de taal onduidelijk is voor de operator leidt dat tot onduidelijkheid en verschillen in interpretatie.
Gebruik (individueel)	Competentie	(28) Incompetente medewerkers die AGV's onderhouden kunnen risicovol gedrag vertonen tijdens gebruik en onderhoud. (29) Indien risico's niet continu gemonitord en gemanaged worden, bestaat de kans dat het AGV systeem niet meer integer kan functioneren.
	Gevaarlijk contact tijdens mens-robot interactie	(30) Risico is dat bij moeilijk te voorspellen gedrag van de AGV, de mens onzeker wordt en vanuit die onzekerheid gaat anticiperen op onverwachte situaties.

Beschrijving risico	Beschrijving risicobeheersmaatregel
(1) In leren zit een risico dat niet meer herleidbaar is wat de AGV geleerd heeft.	(1) Inperken van de leercapaciteiten.
(2) Calamiteiten met AGV's leiden tot verschillende risico's, afhankelijk van het type calamiteit.	(2) In softwareprogrammering rekening houden met calamiteiten (2) Calamiteiten met AGV's afstemmen met RI&E en het calamiteitenprotocol
(3) Veiligheid van AGV kan niet altijd met alle software geborgd zijn.	(3) Zet een veiligheidsbeheerssysteem om het besturingssysteem heen, zodat de 'core veiligheidseisen' geborgd zijn.
(4) Lerende systemen hebben geen kennis van mens-robot-interactie effecten.	(4) Bij lerende systemen rekening houden met de invloed van de mens, op veiligheid van mens- robot-interactie. (4) In simulatieprogramma's waarbij de mens in de simulatieomgeving wordt gebracht. (4) Veiligheidsfactoren als training, kennis van team en organisatie en Virtual Reality (VR) meenemen.
(5) Onduidelijk 'status van AGV kan tot misinterpretaties leiden bij gebruiker.	(5) een interface ontwikkelen die alle (risicovolle) statussen ondervangt en op een eenduidige (niet multi-interpretabele) wijze communiceert. (5) actuele status(code) kunnen vasthouden totdat akkoord wordt gegeven door de operator.
(6) Beperkt of verkeerde communicatie kan een risico zijn voor de gebruikersgemak en situatiewustzijn beperken.	(5) Betekenis van storingsklasse (redundancy en advisering over 'debuggen' aanbieden. (6) Gestandaardiseerd (en gevalideerd) communicatieprotocol voor interactie met gebruikers ontwikkelen voor optimale gebruikerservaring.
(7) Een niet ergonomische gebruikersinterface kan onveilig gedrag stimuleren.	(7) mens en omgeving in de interface van het logistieke systeem van de AGV zichtbaar maken. (7) Innovatieve ergonomische toepassingen van cobots integreren bij AGV's en visa versa. (SMART pad interfaces zouden met elkaar kunnen worden vergeleken).
(8) Accu's van cobots bevatten gevaarlijke zuren waar monteurs aan blootgesteld kunnen worden.	(8) Accu plaatsen in een gescheiden ruimte van de rest van het systeem (scheiden van functies)
(9) Als routes van AGV's wijzigen kan dit leiden tot aanrijdgevaar.	(9) Geprogrammeerde routes beveiligen door een veiligheidspaswoord, zodat deze niet zomaar gewijzigd kan worden door ongeautoriseerde gebruikers.
(10) Onverwachte introductie AGV's op de werkvloer kan leiden tot ongewenst gedrag, waaronder vernieling.	(10) Voorkomen van vernieling door camera op de AGV te plaatsen.
(11) Bij het in bedrijf stellen van een machine kunnen gevaren optreden indien er onvoldoende eisen zijn gesteld aan de implementatie.	(11) Handhaven van 3 stoplichtmodel: Voldoet het product aan de gestelde aankoopnormen? is de keuring bij inbedrijfstelling zichtbaar? Is er een spanningscontrole uitgevoerd en is er aantoonbaar training uitgevoerd?
(12) Met oog op de toekomstige lerende AGV: het voornaamste probleem is dat (geavanceerde) Artificiële Intelligentie algoritmen niet meer te testen (zullen) zijn.	(12) leerprocedure implementeren in de test- en ontwikkelingsfase van de AGV, zodat op een relatief beheerste manier in kaart kan worden gebracht hoe en welk gedrag de robot leert, hoe hij zich aanpast over tijd en wat hiervan de consequenties zijn in relatie tot de samenwerking met de werknemer.

Beschrijving risico	Beschrijving risicobeheersmaatregel
<p>(13) Indien medewerkers onvoldoende betrokken worden bij de introductie van autonome systemen op de werkvloer, dan kan dit leiden tot PSA risico's.</p>	<p>(13) werknemers vanaf het begin meenemen in de besluitvorming en implementatie om draagvlak en eigenaarschap te creëren.</p> <p>vertrouwen in het autonome systeem zou vergroot kunnen worden door:</p> <ul style="list-style-type: none"> - verbale communicatie van de AGV (op basis van stemherkenning van een herkenbaar persoon). - Een veilig AGV-systeem ontwikkelen met de gebruiker volgens ISO 9241. En een testprotocol hanteren in de configuratiefase. Een interactieontwerp waarbij de mens centraal staat en foutinformatie en routeplan duidelijk gecommuniceerd worden. - Duidelijke communicatie over de (manuele) stuurbaarheid door de medewerkers in bepaalde situaties. - Het aanbrengen van een routing in de werkomgeving in overleg met de medewerkers laten geschieden. - Het software algoritme voorprogrammeren op (bekend) onvoorspelbaar gedrag van de mens (i.c. engineers en monteurs) dan wel het mogelijk maken dat de AGV dit gedrag zelf kan duiden en zijn eigen gedrag hierop aanpast op basis van een zelflerend algoritme (soort 'deep learning'). - Een vriendelijk 'aaibaar' ontwerp zou kunnen bijdragen aan het vertrouwen in de AGV. - Langzaam laten wennen aan de AGV. Het naleven van periodieke inspecties op de systemen vergroot de technische betrouwbaarheid van het systeem en daarmee het vertrouwen. - In functioneringsgesprekken de inbreng van medewerkers over stress reducerende maatregelen serieus nemen. - Ervaring met de AGV laten opdoen door gebruik van (serious) gaming of Augmented Reality (AR). - Aspecten van wantrouwen (PSA) op incidenten meenemen in incidentanalyses.
<p>(14) Indien in de omgeving te veel gevaren aanwezig zijn vergroot dat het risico dat informatie door de mens of AGV gemist wordt, hierdoor ontstaan risico's voor de medewerkers.</p>	<p>(14) Het scheiden van logistieke stromen door bijvoorbeeld scheiden van logistieke gebieden (manueel werk vs. geautomatiseerde processen) of tijdsgebonden (bijv. tussen 9-13u geen manuele handelingen en tussen 17-22u raakvlakken).</p> <p>(14) Orde en netheid procedure (housekeeping) met daarin de situationele factoren waarop gelet kan worden.</p> <p>(14) Gevalideerde navigatiesoftware, waaronder SLAM techniek toepassen (Simultaneous Localisation And Mapping), waardoor de AGV 'realtime' zijn omgeving kan voorspellen, plannen en zijn 'veilige' route kan bepalen.</p> <p>(14) Het gebruik van veiligheidsmatten is een alternatief voor de detectie van omstanders.</p> <p>(14) Een ergonomisch interactie-ontwerp helpt daarbij.</p>

Beschrijving risico	Beschrijving risicobeheersmaatregel
(15) Als er onvoldoende afspraken zijn gemaakt door wie en wanneer en onder welke voorwaarden software mag worden aangepast, ontstaan er risico's in de programmering, die niet meer herleidbaar zijn. Dit heeft gevolgen voor de medewerker die met de AGV werkt.	(15) Een 'Management of Change procedure' moet voorwaarden stellen aan het proces om softwarewijzigingen door te voeren, waardoor veranderingen herleidbaar zijn en opvolging is te geven aan de gevolgen daarvan.
(16) Het niet verifiëren van de software updates kan ertoe leiden dat men onterecht in de veronderstelling is dat de AGV werkt volgens de nieuwe update.	(16) Effect van software updates bij meerdere types of versies van AGV's testen, om gewenste universele output vast te stellen.
(17) gevaarlijk contact als gevolg van ontwerpfouten in de gebruiksfase.	(17) ketenmanagement; lessons learned en best practices teruggeven aan de ontwerper en visa versa, intern en delen met sectoren, om universele veilige systemen door te ontwikkelen. (17) Wet en regelgeving ten aanzien van risicobeheersing dient in ketenverband te worden behandeld om het risico optimaal te beheersen. (17) Veiligheidsafstanden uit norm EN 349 handhaven.
(18) Verminderd zicht door AGV kan risico's veroorzaken gevaarlijk contact. hijsen	(18) Toepassen van Redundant sensoren in het technisch ontwerp. (18) 3d 4d camera en sensoren
(19) Verminderd van zicht door AGV kan risico's veroorzaken voor aanrijding.	(19) Toepassen van Redundant sensoren in het technisch ontwerp. (19) Alarmering / stopsysteem voor slipsituaties. (19) Een noodstop, (19) toetsing van kracht op basis van momentum, (19) LiDar, Laserscanner en veiligheidsmatten. (19) Programmable Logic Controller (PLC), (19) communicatie met auditieve signalen. (19) Verbrekerremmen (voor zware AGV's) en betrouwbare druktanks. (19) 3d /4d camera die mens op pad herkent en sensoren (19) Alarmering
(20) Verkeerd opstarten van de AGV in termen van af / aanmelden en laadvermogen/capaciteit/verhouding kan dit risico opleveren voor transport.	(20) Duidelijke werkafspraken voor juist af en aanmelden van AGV's in een bepaald gebied (20) Afstellen van materieel op detectiezone van de AGV (bijvoorbeeld met de vorken van vorkheftruck). (20) AGV route obstakelvrij houden (fleetmanagement) (20) Noodstop aan alle zijden voor tijdig ingrijpen.

Beschrijving risico	Beschrijving risicobeheersmaatregel
(21) Onduidelijke werkafspraken over bijsturing van AGV (manuele interventies) kunnen gevaarlijk zijn voor mens-robot-interactie.	(21) Protocollering voor manueel gebruik. Wie mag in welke situaties 'overrulen'. Bij calamiteiten gelden andere afspraken. (21) De opgeleide fleet manager kan verantwoordelijk worden gesteld voor het controleren van wijzigingen (bijvoorbeeld in de software) aan het AGV-systeem.
(22) Indien in de omgeving te veel gevaren aanwezig zijn vergroot dat het risico dat informatie door de mens of AGV gemist wordt, hierdoor ontstaan risico's voor de medewerkers. risico's in de omgeving door vallende payloads of uitstekende voorwerpen kunnen risico voor mens en AGV interactie opleveren. Ook obstakels of hydraulische olie op de route, kunnen slipgevaar opleveren	(21, 22) Een omgeving moet voldoende ruimte beiden om uit te wijken (zowel voor de AGV als voor de mens). (21, 22) Orde en netheid procedure (housekeeping) met daarin de situationele factoren waarop gelet kan worden. (22) Een omgeving moet voldoende ruimte beiden om uit te wijken (zowel voor de AGV als voor de mens). (22) Orde en netheid procedure (housekeeping) met daarin de situationele factoren waarop gelet kan worden.
(23) Geen duidelijke afspraken of follow-up van de leverancier bij defecten aan het AGV-systeem vergoot risico voor medewerkers. Een tijdige en adequate response van de leverancier op momenten dat er storing aan het AGV-systeem is, voorkomt het risico op ernstige incidenten.	(23) Een snelle respons van de engineering afdeling (en van de leverancier) om het incident met/ storing van de AGV op te lossen. (24) In geval van een cyber attack moet men zo snel mogelijk de rest van het systeem veilig (buiten werking) stellen (23) Goed voorraadbeheer van vergankelijke onderdelen (door de leverancier) versneld een effectieve follow-up.
(24) Het ontbreken van een (ver)sleutelplan in het risicobeheersplan brengt ongewenste risico met zich mee voor vrijkomen van energie.	(24) Uitschakelen van de cobot gebeurt met sloten (sleutel of codes), zodat er geen spanning meer is. (24) Een beleid voor het omgaan met de wachtwoorden kan in het risicobeheersplan worden opgenomen.
(25) Werkdruk is een risico voor de gezondheid en welzijn van de medewerker (PSA).	(25) Door de AGV raakt de medewerker een rustfactor kwijt. Risico voor tempo-dwang zou gemonitord kunnen worden door de AGV/cobot. De AGV kan hier vervolgens feedback over geven aan de operator.
(26) In geval van incidenten en calamiteiten dienen gepaste herstelmaatregelen genomen te worden om de kans op ernstige gevolgen te voorkomen.	(26) Een 'push back' knop of 'pull bar', die de AGV 'terug duwt' (26) lokalisatie gps helpt EHBO en BHV-personeel mensen snel ter plaatse te zijn, wanneer dit gekoppeld is aan het calamiteiten meldingssysteem. (26) plaatsen van BHV en EHBO-materieel op de AGV versnelt de incidentbestrijding. (26) open communicatie te zijn over het incident en professionele verwijzing vanuit HR gefaciliteerd te worden indien lichamelijk letsel of het vertrouwen ernstig verstoord is.
(27) Indien de taal onduidelijk is voor de operator leidt dat tot onduidelijkheid en verschillen in interpretatie.	(27) AGV op taal (her)programmeren afhankelijk van de gebruiker, zodat het voicepickingsysteem door de gebruiker wordt begrepen, waardoor interpretatie en sturing door de operator en AGV makkelijker wordt. (27) Gebruikershandleiding dient in de landstaal waar de leverancier voor levert geschreven te zijn.

Beschrijving risico	Beschrijving risicobeheersmaatregel
(28) Incompetente medewerkers die AGV's onderhouden kunnen risicovol gedrag vertonen tijdens gebruik en onderhoud. In de nachtploeg is de kans op oneigenlijk gebruik groter. De ploeg is soms krappert bezet waardoor er minder ruimte ontstaat voor de (veilige) randvoorwaarden.	(28) 'Persoonscertificeren' competenties: MBO werk en denkniveau; Ervaring met MS Outlook; storingscodes kunnen begrijpen en oplossen; 2d/3d navigatieprogramma kunnen bedienen; interesses in de techniek (Intelligentie AGV; rem, besturing, motor); risico's grote AGV's en mobiele platformen. De nachtploegen dienen dezelfde opleiding te volgen als de dagploegmedewerkers.
(29) Indien risico's niet continu gemonitord en gemanaged worden, bestaat de kans dat het AGV systeem niet meer integer kan functioneren.	(29) Het aanstellen van een fleet operator (bij AGV's) die verantwoordelijk is voor: <ul style="list-style-type: none"> – Het blijven rijden van de vloot – Oplossen van problemen bij stagnatie (incidentmanagement). – Opleiden werknemers – Collectieve maatregelen in bedrijfsproces (o.a. belijning en zonerings van AGV's t.o.v. andere medewerkers). – Algemene huisregels en gedragsregels aanleren en doorgeven aan mensen.
(30) Risico is dat bij moeilijk te voorspellen gedrag de mens onzeker wordt en vanuit die onzekerheid gaat anticiperen op onverwachte situaties.	(30) Programmeer vanuit de perceptie van de mens in het interactieve ontwerp. (30) Het gedrag van de AGV moet zoveel mogelijk voorspelbaar blijven. (30) In simulatieprogramma's zullen veiligheidsfactoren moeten worden meegenomen, als training, kennis van team en organisatie, 'deep learning' en Virtual Reality (VR): waarbij de mens in de simulatieomgeving gebracht wordt. (30) Medewerkers veiligheidsbewust maken over risico's van mens-robot interactie door het tonen van instructiefilmpjes waarbij de gevolgen (van een aanrijding) van een medewerker door de AGV zichtbaar worden.

Healthy Living

Schipholweg 77-89
2316 ZL Leiden
Postbus 3005
2301 DA Leiden

www.tno.nl

T +31 88 866 90 00
infodesk@tno.nl

Handelsregisternummer 27376655

© 2018 TNO