

# INHOUDSOPGAVE



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Voorwoord |  |    |
|           | <b>AMBITIE VOOR 2030:<br/>NEDERLANDSE (PETRO)CHEMISCHE INDUSTRIE DE VEILIGSTE TER WERELD</b> | 5  |
|           | <i>Arjan van Dijk</i>  |    |
|           | <b>MEER DAN DE SOM DER DELEN</b>   | 6  |
|           | <i>Nico Mulder</i>   |    |
| <b>1</b>  | <b>WAT IS PROCESVEILIGHEID?</b>  | 25 |
| 1.1       | Introductie  | 26 |
|           | <i>Jaap de Bruin</i>   |    |
| 1.2       | Historie en definities   | 28 |
|           | <i>Jaap de Bruin</i>   |    |
| 1.2.1     | Bepalende gebeurtenissen   | 28 |
| 1.2.2     | Definities   | 30 |
| 1.2.3     | Scenariodenken als basis voor procesveiligheidsaanpak  | 33 |
| 1.3       | Bedreigingen   | 35 |
|           | <i>Jaap de Bruin</i>   |    |
| 1.3.1     | Eigenschappen van gevaarlijke stoffen en GHS-indeling  | 35 |
| 1.3.2     | Mogelijke gevolgen   | 37 |
| 1.3.2.1   | Brand  | 39 |
| 1.3.2.2   | Explosies  | 39 |
| 1.3.2.3   | Vrijkomen van toxische stof in water, lucht en/of bodem                                      | 40 |
| 1.3.2.4   | Ioniserende straling   | 40 |
| 1.4       | Relaties tussen procesveiligheid, arbeidsveiligheid en duurzaamheid                          | 41 |
|           | <i>Jaap de Bruin</i>   |    |
| 1.4.1     | Verschillen tussen procesveiligheid en arbeidsveiligheid                                     | 41 |
| 1.4.2     | Hoe meet je procesveiligheid?  | 42 |
| 1.4.3     | Duurzaamheid en procesveiligheid   | 42 |
| 1.5       | Ontwikkelingen in het denken over procesveiligheid   | 45 |
|           | <i>Coen van Driel en Nico Mulder</i>   |    |
| 1.5.1     | Initiatieven vanuit overheid en industrie  | 45 |
| 1.5.2     | Opeenstapeling van inzichten   | 48 |
| 1.6       | Het bouwwerk van procesveiligheid  | 51 |
|           | <i>Nico Mulder</i>   |    |
| 1.6.1     | Bouwstenen van procesveiligheid  | 52 |
| 1.6.2     | Samenhang tussen de bouwstenen   | 54 |

# 2

## WETGEVING PROCESVEILIGHEID

57

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.1     | Introductie wet- en regelgeving                     | 58 |
|         | <i>Mark Dabekaussen</i>                             |    |
| 2.1.1   | Arbeids- en gebruikersveiligheid                    | 58 |
| 2.1.2   | Productveiligheid                                   | 59 |
| 2.1.3   | Externe veiligheid                                  | 59 |
| 2.1.4   | Veiligheid stoffen                                  | 60 |
| 2.2     | De Machinerichtlijn (Directive 2006/42/EC)          | 61 |
|         | <i>Nick de With</i>                                 |    |
| 2.2.1   | Algemene achtergrond                                | 61 |
| 2.2.1.1 | Verankering in de Nederlandse wetgeving             | 61 |
| 2.2.1.2 | Rechtsgrondslag en doel                             | 61 |
| 2.2.1.3 | Toepassingsgebied                                   | 61 |
| 2.2.2   | Taken, rollen en verantwoordelijkheden              | 63 |
| 2.2.3   | CE-markering en relevante onderliggende normen      | 64 |
| 2.2.4   | Toepassing Machinerichtlijn in de procesindustrie   | 64 |
| 2.2.4.1 | Heldere definitie van 'machine'                     | 65 |
| 2.2.4.2 | Procesinstallatie en samenstellen van machines      | 66 |
| 2.2.5   | Nabeschouwing                                       | 68 |
| 2.3     | De Richtlijn Drukapparatuur (Directive 2014/68/EU)  | 69 |
|         | <i>Leo Koersvelt</i>                                |    |
| 2.3.1   | De PED op hoofdlijnen                               | 69 |
| 2.3.2   | Fasering van bouw en ingebruikname                  | 70 |
| 2.3.2.1 | Ontwerpfase   | 71 |
| 2.3.2.2 | Keuringsfase  | 73 |
| 2.3.2.3 | Gebruiksfase  | 73 |
| 2.3.2.4 | Buitenbedrijf-fase                                  | 74 |
| 2.4     | ATEX-richtlijn (Directive 1999/92/EG en 2014/34/EU) | 75 |
|         | <i>Rolf van Dijk</i>                                |    |
| 2.4.1   | Doelstelling van de ATEX-wetgeving                  | 75 |
| 2.4.1.1 | ATEX 153 en 114 en hun toepassingsgebieden          | 75 |
| 2.4.1.2 | Samenspel van beide richtlijnen                     | 76 |
| 2.4.2   | Wanneer is ATEX van toepassing?                     | 78 |
| 2.4.3   | Nederlandse wet- en regelgeving                     | 79 |
| 2.4.3.1 | Arbobesluit   | 79 |
| 2.4.3.2 | Warenwetbesluit explosieveilig materieel            | 80 |
| 2.4.4   | Onderscheid ATEX-richtlijnen                        | 81 |
| 2.5     | Seveso-richtlijn in Nederland                       | 82 |
|         | <i>Cor Neeft</i>                                    |    |
| 2.5.1   | Toepassingsgebied en indeling van bedrijven         | 82 |
| 2.5.2   | Procesbeheersing                                    | 84 |
| 2.5.2.1 | Preventie criterium                                 | 85 |
| 2.5.2.2 | Risicobewustzijn                                    | 86 |
| 2.5.3   | Veiligheidsbeheerssysteem                           | 87 |
| 2.5.4   | Handhaving en toezicht                              | 88 |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>2.6</b> | <b>Verordeningen REACH (1907/2006/EU) en CLP (1272/2008/EU)</b>               | <b>94</b> |
|            | <i>Jean-Marc Abbing</i>   |           |
| 2.6.1      | Achtergrond en doel van de REACH- en CLP-wetgeving                            | 94        |
| 2.6.2      | REACH-processen ter ondersteuning van veilig gebruik van stoffen              | 95        |
| 2.6.2.1    | Registratie (door middel van het registratiedossier)                          | 95        |
| 2.6.2.2    | Evaluatie   | 96        |
| 2.6.2.3    | Communicatie  | 96        |
| 2.6.3      | REACH-processen ter beperking of uitfasering van de meest gevaarlijke stoffen | 97        |
| 2.6.3.1    | Identificatie van de meest gevaarlijke stoffen en vervolgstappen              | 97        |
| 2.6.3.2    | Autorisatie   | 98        |
| 2.6.3.2    | Restrictie  | 99        |
| 2.6.4      | CLP-processen ter toekenning van gevaarseigenschappen van stoffen en mengsels | 99        |
| 2.6.4.1    | De indeling in gevaarscategorieën door middel van zelfclassificatie           | 99        |
| 2.6.4.2    | Het harmonisatieproces van classificatie                                      | 100       |
| 2.6.4.3    | Notificatieplicht voor importeurs en producenten                              | 101       |
| 2.6.5      | Relevantie van REACH en CLP voor procesveiligheid                             | 101       |

### 3

#### **MODELLEREN VAN PROCESVEILIGHEID: SCENARIODENKEN** 103

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>3.1</b> | <b>Het belang van scenariodenen</b>                       | <b>104</b> |
|            | <i>Carsten Assmann</i>                                    |            |
| 3.1.1      | Scenario's en industriële veiligheid                      | 104        |
| 3.1.2      | Scenario's in wet- en regelgeving                         | 105        |
| <b>3.2</b> | <b>Scenarioanalyse en -modellering</b>                    | <b>107</b> |
|            | <i>Carsten Assmann</i>                                    |            |
| 3.2.1      | Aanpak van de analyse                                     | 107        |
| 3.2.1.1    | Deterministische onderzoeken                              | 107        |
| 3.2.1.2    | Probabilistische studies                                  | 108        |
| 3.2.2      | Onderzoekstechnieken                                      | 109        |
| 3.2.3      | Modellering   | 110        |
| 3.2.3.1    | Oorzaken  | 111        |
| 3.2.3.2    | Ongewenste kerngebeurtenissen                             | 112        |
| 3.2.3.3    | Effecten  | 113        |
| 3.2.4      | Simulatieberekeningen                                     | 115        |
| <b>3.3</b> | <b>Risico-berekening en -beoordeling</b>                  | <b>119</b> |
|            | <i>Carsten Assmann</i>                                    |            |
| 3.3.1      | Kwantificeren van risico's                                | 119        |
| 3.3.2      | Afwegen van risico-reducerende maatregelen                | 121        |
| 3.3.3      | Risico-acceptatie   | 121        |
| 3.3.3.1    | Acceptatiecategorieën                                     | 122        |
| 3.3.3.2    | Andersoortige afwegingen                                  | 124        |
| <b>3.4</b> | <b>Het schillenmodel - modellering en borging</b>         | <b>125</b> |
|            | <i>Carsten Assmann</i>                                    |            |
| 3.4.1      | Opbouw van het model                                      | 125        |
| 3.4.2      | Nadere toelichting op het model                           | 127        |
| 3.4.3      | Borging van de betrouwbaarheid van veiligheidsmaatregelen | 129        |
| 3.4.4      | Nabeschuiving   | 131        |

# 4

## RISICOANALYSETECHNIKEN

133

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 4.1       | Introductie risicoanalyse  | 134 |
|           | <i>Nico Mulder en Daan Stam</i>  |     |
| 4.2       | Chemische risicobeoordeling  | 137 |
|           | <i>Jaap de Bruin</i>   |     |
| 4.2.1     | Inherent gevaar van exotherme reacties                                   | 138 |
| 4.2.2     | Wanneer is een exotherme reactie gevaarlijk?                             | 138 |
| 4.2.2.1   | Bij reactie in een reactor   | 138 |
| 4.2.2.1   | Bij opslag   | 140 |
| 4.2.3     | Welke testen kunnen er gedaan worden?                                    | 142 |
| 4.3       | Kwalitatieve risicoanalysemethoden: SWIFT, HAZOP en bow tie)             | 144 |
|           | <i>Daan Stam</i>   |     |
| 4.3.1     | Opzet van risico-identificatiestudies: teamexercitie                     | 144 |
| 4.3.2     | Toetsingskader voor kwalitatieve risicobeoordeling                       | 145 |
| 4.3.3     | <i>Structured What-If Technique (SWIFT)</i>                              | 147 |
| 4.3.4     | <i>Hazard and Operability study (HAZOP)</i>                              | 148 |
| 4.3.4.1   | Definiëren van nodes en hun ontwerpintentie                              | 149 |
| 4.3.4.2   | Bepalen van te beoordelen soorten afwijkingen                            | 150 |
| 4.3.4.3   | Vaststellen van oorzaken   | 151 |
| 4.3.4.4   | Vaststellen van gevolgen   | 152 |
| 4.3.4.5   | Vaststellen van relevante bestaande of nog aan te brengen beveiligingen  | 152 |
| 4.3.5     | <i>Bow tie</i>   | 153 |
| 4.4       | Semi-kwantitatieve methodes: LOPA en risicograaf                         | 156 |
|           | <i>Daan Stam</i>   |     |
| 4.4.1     | <i>Layer of Protection Analysis (LOPA)</i>                               | 156 |
| 4.4.1.1   | Uitgangspunten en beperkingen van de methode                             | 156 |
| 4.4.1.2   | Vaststellen van beginoorzaken - <i>Initiating Events</i>                 | 158 |
| 4.4.1.3   | Randvoorwaarden - <i>Enabling Conditions</i>                             | 160 |
| 4.4.1.4   | Vaststellen van beschermingslagen - <i>Independent Protection Layers</i> | 161 |
| 4.4.1.5   | Kansverlaging van een effect - <i>Conditional Modifiers</i>              | 163 |
| 4.4.1.6   | Wel of niet meewegen van omstandigheden                                  | 164 |
| 4.4.1.7   | Door wie en wanneer wordt een LOPA uitgevoerd?                           | 165 |
| 4.4.2     | SIL-classificatie  | 165 |
| 4.4.2.1   | Werkwijze  | 166 |
| 4.4.2.2   | Bepaling van het vereiste SIL-niveau: risicograaf versus LOPA            | 170 |
| 4.5       | Kwantitatieve risicoanalyses   | 171 |
|           | <i>Carsten Assmann</i>   |     |
| 4.5.1     | Toepassing van kwantitatieve risicoanalyses                              | 171 |
| 4.5.2     | Overzicht van de stappen van een QRA                                     | 172 |
| 4.5.2.1   | Onderverdeling van installaties in inluitsystemen                        | 173 |
| 4.5.2.2   | Inventarisatie van apparatuur  | 174 |
| 4.5.2.3   | Bepaling van proces- en omgevingsomstandigheden                          | 176 |
| 4.5.2.3.1 | Procesomstandigheden   | 176 |
| 4.5.2.3.2 | Omgevingsomstandigheden  | 179 |
| 4.5.2.4   | Bepaling van representatieve kerngebeurtenissen (LOC-scenario's)         | 179 |
| 4.5.2.5   | Uitwerking van foutenbomen   | 181 |
| 4.5.2.6   | Uitwerking van gebeurtenissenbomen                                       | 183 |
| 4.5.2.6.1 | Uitstroom  | 185 |

2

3

4

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 4.5.2.6.2  | Directe ontsteking  | 187        |
| 4.5.2.6.3  | Verspreiding  | 189        |
| 4.5.2.6.4  | Vertraagde ontsteking   | 192        |
| 4.5.2.6.5  | Schadelijke blootstelling   | 193        |
| 4.5.2.7    | Cumulatie van risico's per schadetype                                       | 198        |
| 4.5.3      | Nabeschuwing  | 200        |
| <b>4.6</b> | <b><i>Occupied Building Risk Assessment</i></b>                             | <b>201</b> |
|            | <i>Peter Walraven</i>   |            |
| 4.6.1      | Aanleiding  | 201        |
| 4.6.1.1    | Historie van het ontwerp van gebouwen op industriële sites                  | 202        |
| 4.6.1.2    | Relatie met wetgeving en beleid   | 202        |
| 4.6.2      | OBRA - werkproces   | 204        |
| 4.6.2.1    | Vaststellen van de scope  | 204        |
| 4.6.2.1.1  | Positie in de levenscyclus  | 205        |
| 4.6.2.1.2  | Definitie van verblijfsgebouw   | 205        |
| 4.6.2.1.3  | Interne versus externe activiteiten   | 206        |
| 4.6.2.1.4  | Betrokken kennis en expertises  | 206        |
| 4.6.2.2    | Risicogebaseerde versus effectgebaseerde benadering van de analyse          | 207        |
| 4.6.2.3    | Bepaling van de gevaren   | 208        |
| 4.6.2.4    | Selectie van criteria voor de beoordeling van de risico's                   | 209        |
| 4.6.2.4.1  | Generieke criteria voor de beoordeling                                      | 210        |
| 4.6.2.4.2  | Specifieke criteria voor de beoordeling                                     | 210        |
| 4.6.2.5    | Beoordeling van het risico voor verblijfsgebouwen                           | 211        |
| 4.6.2.6    | Numerieke modellering   | 212        |
| 4.6.2.7    | Maatregelen, verantwoording, acties en mitigatieplannen                     | 214        |
| 4.6.3      | Inbedding van de beoordeling van risico's voor verblijfsgebouwen            | 216        |
| <b>4.7</b> | <b>Procesveiligheidsstudies tijdens de levenscyclus van een installatie</b> | <b>217</b> |
|            | <i>Nico Mulder</i>  |            |
| 4.7.1      | Doelstellingen  | 217        |
| 4.7.2      | <i>Six-stage hazard study</i> -methodiek                                    | 219        |
| 4.7.3      | Post-projectfase  | 224        |
| 4.7.4      | Operationele fase   | 224        |
| <b>5</b>   | <b>ONTWERP INTEGRITEIT - HARDWARE</b>                                       | <b>227</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Introductie ontwerpintegriteit</b>                                       | <b>228</b> |
|            | <i>Nico Mulder en Remko van der Meijden</i>                                 |            |
| <b>5.2</b> | <b>Inherent veiliger ontwerpen</b>  | <b>231</b> |
|            | Gert Sloof en Nico Mulder   |            |
| 5.2.1      | Procesveiligheid als bronaanpak   | 232        |
| 5.2.2      | Inherent veiliger ontwerp   | 233        |
| 5.2.3      | Ontwerpstrategie  | 235        |
| 5.2.4      | Nabeschuwing  | 236        |
| <b>5.3</b> | <b>Materiaalselectie</b>  | <b>238</b> |
|            | <i>Leo Koersvelt</i>  |            |
| 5.3.1      | Parameters in materiaalselectie   | 239        |
| 5.3.1.1    | Kosten  | 239        |
| 5.3.1.2    | Fysische eigenschappen  | 239        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.3.1.3    | Mechanische eigenschappen  | 240        |
| 5.3.1.4    | Corrosie-eigenschappen   | 241        |
| 5.3.1.5    | Verwerkbaarheid  | 241        |
| 5.3.1.6    | Verkrijgbaarheid   | 242        |
| 5.3.2      | Materialsoorten, hun eigenschappen en toepassingen in de procesindustrie | 242        |
| 5.3.2.1    | Metalen  | 243        |
| 5.3.2.2    | Kunststoffen   | 244        |
| 5.3.2.3    | Overige materialen   | 245        |
| 5.3.3      | Het proces van de materiaalselectie                                      | 246        |
| 5.3.3.1    | Lagetemperatuurbestendigheid   | 247        |
| 5.3.3.2    | Hogetemperatuurdegradatie  | 247        |
| 5.3.3.3    | Bepalen corrosie-loops   | 247        |
| 5.3.3.4    | Corrosiesnelheid   | 247        |
| 5.3.3.5    | Storingssituaties  | 248        |
| 5.3.3.6    | Review   | 248        |
| 5.3.4      | Nabeschuwing   | 249        |
| <b>5.4</b> | <b>Metaal­soorten en hun toepassing in de procesindustrie</b>            | <b>250</b> |
|            | <i>Leo Koersvelt</i>   |            |
| 5.4.1      | Aluminium  | 250        |
| 5.4.2      | IJzer en staal   | 250        |
| 5.4.3      | Roestvast staal  | 253        |
| 5.4.4      | Legeringen op nikkelbasis  | 255        |
| 5.4.5      | Legeringen op koperbasis   | 255        |
| 5.4.6      | Exotische metaal­soorten   | 255        |
| 5.4.7      | Nabeschuwing   | 256        |
| <b>5.5</b> | <b>Procesbesturing</b>   | <b>257</b> |
|            | <i>Gert Sloof</i>  |            |
| 5.5.1      | Functionaliteit  | 257        |
| 5.5.1.1    | Purdue referentiemodel – onderverdeling in functionele niveaus           | 257        |
| 5.5.1.2    | Soorten regelsystemen  | 259        |
| 5.5.1.3    | Primaire functie van een regelsysteem                                    | 260        |
| 5.5.1.4    | PID-regelaars  | 261        |
| 5.5.2      | Onderdelen en uitvoeringsvormen van een procesbesturingscomputer         | 264        |
| 5.5.3      | Vastlegging van de uitgangspunten van procesbesturing                    | 266        |
| 5.5.4      | Graad van automatisering, software en mens-machine-interface             | 266        |
| <b>5.6</b> | <b>Alarmering</b>  | <b>268</b> |
|            | <i>Gert Sloof</i>  |            |
| 5.6.1      | Alarmering van operators: waarom en hoe?                                 | 268        |
| 5.6.1.1    | Soorten operator notificaties  | 268        |
| 5.6.1.2    | Te onderscheiden grenswaarden  | 269        |
| 5.6.1.3    | Documenteren van grenswaarden  | 271        |
| 5.6.2      | Alarmmanagement  | 273        |
| 5.6.2.1    | Uitgangspunten   | 273        |
| 5.6.2.2    | Operator interventies en alarmuitbraken                                  | 274        |
| 5.6.2.3    | Opvolging van notificaties en alarmen                                    | 276        |
| 5.6.3      | Nabeschuwing   | 277        |
| <b>5.7</b> | <b>Safety Instrumented Systems en Emergency ShutDown</b>                 | <b>278</b> |
|            | <i>Gert Sloof</i>  |            |
| 5.7.1      | Begrippenkader   | 278        |
| 5.7.2      | Ontwerp en bijbehorende documentatie                                     | 279        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 5.7.3       | Testen bij ingebruikname                                 | 280        |
| 5.7.4       | Betrouwbaarheid  | 281        |
| 5.7.5       | Responsnsnelheid   | 282        |
| 5.7.6       | Opbouw van een SIS                                       | 284        |
| 5.7.7       | <i>Interlocks</i>  | 285        |
| 5.7.8       | Batchprocessen   | 286        |
| <b>5.8</b>  | <b>Overdrukbeveiliging</b>                               | <b>287</b> |
|             | <i>Leo Koersvelt</i>                                     |            |
| 5.8.1       | Doelstelling   | 287        |
| 5.8.2       | Uitvoeringsvormen  | 288        |
| 5.8.3       | Selectiecriteria   | 290        |
| 5.8.4       | Dimensionering   | 291        |
| 5.8.5       | Onderhoud en keuring                                     | 291        |
| <b>5.9</b>  | <b>Explosieveilgheid</b>                                 | <b>292</b> |
|             | <i>Gerard van Laar</i>                                   |            |
| 5.9.1       | Soorten explosies op basis van energiebron               | 292        |
| 5.9.2       | Voorwaarden voor een explosie                            | 294        |
| 5.9.3       | Verloop van een explosie                                 | 295        |
| 5.9.4       | Gevolgen van een explosie                                | 298        |
| 5.9.5       | Stofeigenschappen ter beoordeling van explosierisico's   | 298        |
| 5.9.6       | Explosiepreventie  | 301        |
| 5.9.7       | Explosie-effectbeperkende maatregelen                    | 303        |
| <b>5.10</b> | <b>Constructiefase en oplevering</b>                     | <b>306</b> |
|             | <i>Jeroen Bergers</i>                                    |            |
| 5.10.1      | Contractormangement                                      | 306        |
| 5.10.1.1    | Contractvorm   | 306        |
| 5.10.1.2    | Contractorselectie                                       | 307        |
| 5.10.1.3    | Risico-inventarisatie en -evaluatie van de werkzaamheden | 308        |
| 5.10.1.4    | Contractortraining                                       | 309        |
| 5.10.1.5    | Opvolging van de werkzaamheden                           | 310        |
| 5.10.1.6    | Evaluatie van de werkzaamheden                           | 310        |
| 5.10.2      | Constructiemanagement                                    | 311        |
| 5.10.2.1    | Constructieplanning                                      | 311        |
| 5.10.2.2    | Werkvergunningstelsel                                    | 312        |
| 5.10.3      | Oplevering en overdracht                                 | 314        |
| 5.10.3.1    | <i>Pre-commissioning</i>                                 | 314        |
| 5.10.3.2    | <i>Commissioning</i>                                     | 315        |
| 5.10.3.3    | <i>Pre Startup Safety Review</i>                         | 316        |



# 6

## TECHNISCHE INTEGRITEIT - HARDWARE

317

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 6.1     | Introductie technische integriteit                               | 318 |
|         | <i>Nico Mulder</i>   |     |
| 6.2     | Mechanische integriteit  | 322 |
|         | <i>Remko van der Meijden</i>                                     |     |
| 6.2.1   | Reikwijdte van het mechanische integriteitsprogramma             | 322 |
| 6.2.2   | Degradatiemechanismen en beheersmaatregelen                      | 322 |
| 6.2.3   | Interne aantasting   | 323 |
| 6.2.3.1 | Mechanismen  | 323 |
| 6.2.3.2 | <i>Integrity Operating Window</i>                                | 324 |
| 6.2.3.3 | Bewaking van het <i>Integrity Operating Window</i>               | 325 |
| 6.2.4   | Externe aantasting   | 326 |
| 6.2.5   | Speciale aandachtsgebieden                                       | 327 |
| 6.2.6   | Nabeschouwing  | 328 |
| 6.3     | Corrosiebeheersing   | 329 |
|         | <i>Leo Koersvelt</i>   |     |
| 6.3.1   | Soorten corrosie   | 329 |
| 6.3.2   | Corrosiebeheersing   | 332 |
| 6.3.3   | Nabeschouwing  | 333 |
| 6.4     | <i>Risk Based Inspection</i>                                     | 334 |
|         | <i>Leo Koersvelt</i>   |     |
| 6.4.1   | Wettelijk kader  | 334 |
| 6.4.2   | Wat betekent dit in de praktijk?                                 | 334 |
| 6.4.3   | Risicogebaseerde aanpak  | 335 |
| 6.4.3.1 | Risicoanalyse  | 338 |
| 6.4.3.2 | Beschrijving van degradatie- en faalmechanismen                  | 339 |
| 6.4.3.3 | Opstellen inspectieplan  | 340 |
| 6.4.3.4 | Checken van apparatuur en/of procesparameters                    | 340 |
| 6.4.4   | Meerwaarde van de <i>Risk Based Inspection</i> -aanpak           | 340 |
| 6.4.5   | Randvoorwaarden voor succes                                      | 341 |
| 6.5     | Identificatie en beheer van <i>Safety Critical Elements</i>      | 343 |
|         | <i>Remko van der Meijden</i>                                     |     |
| 6.5.1   | Scenario's, barrières en gebeurtenissen                          | 343 |
| 6.5.2   | Kenmerken van <i>Safety Critical Elements</i>                    | 344 |
| 6.5.3   | Integriteitsborging  | 347 |
| 6.5.4   | Dynamisch barrièremanagement                                     | 348 |
| 6.6     | Functionele integriteit van beveiligingssystemen                 | 350 |
|         | <i>Gert Sloof</i>  |     |
| 6.6.1   | Betrouwbaarheid en faalkansen van een systeem                    | 350 |
| 6.6.2   | Betrouwbaarheid en faalkansen van een beveiligingssysteem        | 351 |
| 6.6.3   | Vergroting systeembetrouwbaarheid door meervoudige uitvoering    | 353 |
| 6.6.4   | Afhankelijk falen  | 355 |
| 6.6.4.1 | Beperken van de invloed van afhankelijke fouten                  | 356 |
| 6.6.4.2 | Schatting van de bijdrage van afhankelijke fouten aan faalkansen | 357 |
| 6.6.5   | Behoud van technische integriteit                                | 359 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 6.6.6      | Faalcijfers  | 360        |
| 6.6.6.1    | Openbare bronnen van faalcijfers   | 360        |
| 6.6.6.2    | Bedrijfsspecifieke faalcijfers   | 361        |
| 6.6.6.3    | Combineren van openbare en bedrijfsspecifieke faalcijfers                    | 362        |
| <b>6.7</b> | <b>ATEX in de praktijk</b>   | <b>364</b> |
|            | <i>Rolf van Dijk</i>   |            |
| 6.7.1      | Europese normen op het gebied van ATEX                                       | 364        |
| 6.7.2      | Nederlandse Praktijkrichtlijnen voor ATEX-gevarenclassificatie               | 366        |
| 6.7.3      | Gevarenclassificatie   | 367        |
| 6.7.3.1    | Klasse van de zones  | 367        |
| 6.7.3.2    | Omvang van de zones (gas/damp)   | 369        |
| 6.7.3.3    | Omvang van de zones (stof)   | 371        |
| 6.7.3.4    | Stofeigenschappen - ontsteekbaarheid   | 371        |
| 6.7.4      | Toegelaten apparatuur binnen gevarenclassificatie                            | 371        |
| 6.7.4.1    | Materieelgroepen   | 372        |
| 6.7.4.2    | Temperatuurklassen   | 372        |
| 6.7.4.3    | Betrouwbaarheidscategorieën  | 373        |
| 6.7.4.4    | Codering van ATEX-apparatuur   | 375        |
| 6.7.4.5    | Keuring en inspectie van elektrisch en niet-elektrisch materieel             | 376        |
| 6.7.4.6    | Ontstekingsbronanalyse en statische elektriciteit                            | 376        |
| 6.7.5      | De relatie van ATEX met procesveiligheid                                     | 378        |
| 6.7.5.1    | Zoneclassificatie binnen installaties - domein procesveiligheid              | 380        |
| 6.7.5.2    | Zoneclassificatie rondom installaties - domein ATEX-regelgeving              | 382        |
| 6.7.6      | Verkleinen kans op explosieve atmosfeer                                      | 383        |
| <b>6.8</b> | <b>Branddetectie en brandbestrijding</b>                                     | <b>386</b> |
|            | <i>Ron de Bruijn</i>   |            |
| 6.8.1      | Mogelijkheden voor branddetectie   | 386        |
| 6.8.2      | Brandontwikkeling  | 388        |
| 6.8.3      | Brandprofielen   | 388        |
| 6.8.3.1    | Rookprofielen  | 388        |
| 6.8.3.2    | Energie-emitterende profielen  | 389        |
| 6.8.3.3    | Gas-emitterende profielen  | 389        |
| 6.8.4      | Invloed van gebouwhoogte en ventilatie op de effectiviteit van branddetectie | 390        |
| 6.8.5      | Brandbestrijding   | 390        |
| 6.8.5.1    | Waterblussystemen  | 390        |
| 6.8.5.2    | Gasblussystemen  | 393        |
| 6.8.5.3    | Schuimblussystemen   | 393        |
| 6.8.5.4    | Hydranten  | 394        |
| 6.8.5.5    | Blusmiddelen   | 394        |
| <b>6.9</b> | <b>Buitenbedrijfstelling en sloop</b>  | <b>397</b> |
|            | <i>Leo Koersvelt</i>   |            |
| 6.9.1      | Tijdelijk buiten bedrijf stellen van een fabriek                             | 397        |
| 6.9.2      | Slopen van een fabriek   | 399        |
| 6.9.2.1    | Vorbereiding   | 399        |
| 6.9.2.2    | Uitvoering   | 401        |
| 6.9.2.3    | <i>Lessons learned</i>   | 402        |

# 7

## OPERATIONELE INTEGRITEIT - SOFTWARE

403

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 7.1     | Introductie operationele integriteit              | 404 |
|         | <i>Remko van der Meijden en Nico Mulder</i>       |     |
| 7.2     | Procesveiligheidsinformatie                       | 406 |
|         | <i>Johan Rood</i>                                 |     |
| 7.3     | Beheer van wijzigingen                            | 411 |
|         | <i>Johan Rood</i>                                 |     |
| 7.3.1   | Wat is een wijziging?                             | 412 |
| 7.3.2   | Wijzigingsbeheerprocedure                         | 413 |
| 7.3.3   | Tijdelijke wijzigingen                            | 415 |
| 7.3.4   | Overbruggingen van beveiligingssystemen           | 415 |
| 7.3.6   | Organisatorische wijzigingen                      | 416 |
| 7.3.6   | Uitzonderingssituaties                            | 416 |
| 7.4     | <i>Pre Start-up Safety Review</i>                 | 417 |
|         | <i>Johan Rood</i>                                 |     |
| 7.4.1   | Basisbegrip                                       | 417 |
| 7.4.2   | Opzet   | 418 |
| 7.4.3   | Uitvoering  | 419 |
| 7.5     | Operationele procedures                           | 421 |
|         | <i>Remko van der Meijden</i>                      |     |
| 7.5.1   | Kader   | 421 |
| 7.5.2   | Definitie   | 423 |
| 7.5.3   | Ontwikkelen van procedures                        | 423 |
| 7.5.4   | Beheer van het operationele handboek              | 426 |
| 7.5.5   | Periodieke evaluatie                              | 427 |
| 7.5.6   | Trainen en hertrainen                             | 428 |
| 7.6     | Werkvergunningen                                  | 429 |
|         | <i>Johan Rood</i>                                 |     |
| 7.6.1   | Doel  | 429 |
| 7.6.2   | Toepassingsgebied                                 | 431 |
| 7.6.3   | Kenmerken van goede werkvergunningen              | 431 |
| 7.6.3.1 | Werkzaamheden en risico's                         | 431 |
| 7.6.3.2 | Beheersmaatregelen                                | 432 |
| 7.6.3.3 | Geldigheid  | 432 |
| 7.6.4   | Stappenplan                                       | 433 |
| 7.6.5   | Speciale werkvergunningen                         | 435 |
| 7.6.6   | Bijzondere situaties                              | 436 |
| 7.6.7   | Archivering en auditing                           | 437 |
| 7.7     | LOTOTO - Lock Out, Tag Out, Try Out               | 440 |
|         | <i>Johan Rood</i>                                 |     |
| 7.7.1   | Aanleiding  | 440 |
| 7.7.2   | Doel van LOTOTO                                   | 441 |
| 7.7.3   | Moderne uitvoeringsvorm in de chemische industrie | 441 |
| 7.7.3.1 | Rollen en verantwoordelijkheden                   | 443 |
| 7.7.3.2 | Het LOTOTO-proces                                 | 443 |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 7.7.4      | Randvoorwaarden                             | 448        |
| 7.7.5      | Nabeschuwing                                | 450        |
| <b>7.8</b> | <b>Incidentenanalyse</b>                    | <b>451</b> |
|            | <i>Wim van Alphen</i>                       |            |
| 7.8.1      | Wat is een ongeval?                         | 451        |
| 7.8.1.1    | Arbeidsongevallen                           | 451        |
| 7.8.1.2    | Zware industriële ongevallen                | 451        |
| 7.8.2      | Analyse van ongevallen                      | 452        |
| 7.8.2.1    | <i>Five times why</i> -analyse              | 452        |
| 7.8.2.2    | Modellering van het verloop van een ongeval | 453        |
| 7.8.2.3    | Belang van diepgaand onderzoek              | 454        |
| 7.8.2.4    | Keuze van een ongevalsanalysemethode        | 454        |
| 7.8.3      | Basisrisicofactoren                         | 455        |
| 7.8.3.1    | Vaak gehanteerde grondoorzaken              | 455        |
| 7.8.3.2    | Trendanalyse van grondoorzaken              | 456        |
| 7.8.4      | Leren van de bevindingen van ongevallen     | 457        |

## 8

### OPERATIONELE INTEGRITEIT – MINDWARE

461

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>8.1</b> | <b>De menselijke inbreng bij procesveiligheid</b>      | <b>462</b> |
|            | <i>Jaap de Bruin en Nico Mulder</i>                    |            |
| 8.1.1      | Interacties  | 462        |
| 8.1.2      | Thema's  | 464        |
| <b>8.2</b> | <b>Cultuur en gedrag</b>                               | <b>466</b> |
|            | <i>Jaap de Bruin</i>                                   |            |
| 8.2.1      | Wat verstaan we onder veiligheidscultuur?              | 467        |
| 8.2.2      | Psychologische aspecten                                | 467        |
| 8.2.2.1    | Veiligheidscultuurladders                              | 467        |
| 8.2.2.2    | Leiderschap  | 469        |
| 8.2.3      | Gedragsaspecten  | 469        |
| 8.2.3.1    | Wat is gedrag?   | 469        |
| 8.2.3.2    | Welke factoren hebben invloed op gedrag?               | 470        |
| 8.2.3.3    | Fout of overtreding                                    | 470        |
| 8.2.4      | Nabeschuwing   | 473        |
| <b>8.3</b> | <b>Competenties en hun inbedding in de organisatie</b> | <b>474</b> |
|            | <i>Piet Knijff</i>                                     |            |
| 8.3.1      | Wat is competentie?                                    | 475        |
| 8.3.2      | Competentiemanagement                                  | 477        |
| 8.3.3      | Stappenplan  | 479        |
| 8.3.3.1    | Identificeer competentiegebieden en sleutelrollen      | 479        |
| 8.3.3.2    | Definieer competentie-eisen per sleutelrol             | 480        |
| 8.3.3.3    | Wijs de rollen toe aan personen of functies            | 481        |
| 8.3.3.4    | Train, kwalificeer en ontwikkel                        | 482        |
| 8.3.3.5    | Monitor, evalueer en verbeter                          | 483        |
| 8.3.4      | Nabeschuwing   | 483        |
| <b>8.4</b> | <b>Doelmatig menselijk ingrijpen</b>                   | <b>484</b> |
|            | <i>Gert Sloof</i>                                      |            |
| 8.4.1      | Generaties van modellen voor menselijk falen           | 485        |
| 8.4.2      | <i>Human Factor</i> -analyse                           | 487        |
| 8.4.2.1    | Stappenplan  | 487        |
| 8.4.2.2    | Prestatiebepalende factoren                            | 488        |
| 8.4.2.3    | <i>Human Reliability Assessment</i>                    | 489        |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.5   | Basisprincipes voor procesveiligheid - <i>Process Safety Fundamentals</i> | 491 |
|       | <i>Johan Rood</i>   |     |
| 8.5.1 | Doel  | 492 |
| 8.5.2 | Opzet   | 493 |
| 8.5.3 | Toepassing  | 495 |
| 8.5.4 | Documentatiemateriaal en implementatie                                    | 496 |
| 8.5.5 | Inbedding in trajecten voor veiligheidscultuurverbetering                 | 498 |

## 9

### RISICOMANAGEMENT

499

|     |                              |     |
|-----|------------------------------|-----|
| 9.1 | Introductie risicomanagement | 500 |
|     | <i>Piet Knijff</i>           |     |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 9.2 | Managementsystemen voor procesveiligheid | 505 |
|-----|--|-----|

|         |   |     |
|---------|---|-----|
|         | <i>Coen van Driel</i>   |     |
| 9.2.1   | Belang van managementsystemen en standaarden                  | 505 |
| 9.2.2   | Managen van procesveiligheid                                  | 506 |
| 9.2.2.1 | Procesveiligheidsmanagementsystemen - internationale modellen | 506 |
| 9.2.2.2 | Risicodenken als grondslag                                    | 509 |
| 9.2.3   | Beschrijving van een procesveiligheidsmanagementsysteem       | 510 |
| 9.2.3.1 | Essentiële elementen  | 511 |
| 9.2.3.2 | Performancemanagement   | 513 |
| 9.2.3.3 | Maturiteit  | 514 |
| 9.2.4   | Risico en voordelen van focus op managementsystemen           | 515 |

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 9.3 | Procesveiligheidsaudits | 517 |
|-----|-------------------------|-----|

|         |  |     |
|---------|--|-----|
|         | <i>Dirk Doornbos</i>                           |     |
| 9.3.1   | Omvang en planning                             | 517 |
| 9.3.1.1 | Scope  | 517 |
| 9.3.1.2 | Auditplanning - lange termijn                  | 518 |
| 9.3.1.3 | Auditplanning - korte termijn                  | 518 |
| 9.3.2   | Middelen                                       | 519 |
| 9.3.2.1 | Vorbereiding                                   | 519 |
| 9.2.2.2 | Communicatie                                   | 519 |
| 9.2.3   | Uitvoering                                     | 519 |
| 9.2.3.1 | Opening  | 519 |
| 9.2.3.2 | Rondleiding                                    | 520 |
| 9.2.3.3 | Interviews                                     | 520 |
| 9.2.3.4 | Tussentijdse briefing                          | 520 |
| 9.3.3.5 | Inspecties van technische installaties         | 521 |
| 9.3.3.6 | <i>Close-out meeting</i>                       | 521 |
| 9.3.4   | Omgaan met bevindingen                         | 522 |
| 9.3.5   | Rapportage                                     | 523 |
| 9.3.6   | Opvolging: uitvoeren van correctieve acties    | 524 |
| 9.3.7   | Positieve effecten van procesveiligheidsaudits | 524 |

|     |                     |     |
|-----|---------------------|-----|
| 9.4 | Prestatiemonitoring | 525 |
|-----|---------------------|-----|

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
|           | <i>Remko van der Meijden</i>                                  |     |
| 9.4.1     | Belanghebbenden   | 525 |
| 9.4.2     | Soorten indicatoren   | 526 |
| 9.4.2.1   | Onderscheid tussen terugkijkende en voorspellende indicatoren | 526 |
| 9.4.2.2   | Hiërarchie van indicatoren                                    | 527 |
| 9.4.3     | Werkproces voor prestatie-monitoring                          | 528 |
| 9.4.3.1   | Selectie van prestatie-indicatoren                            | 528 |
| 9.4.3.1.1 | <i>Tier 3</i> -indicatoren                                    | 529 |
| 9.4.3.1.2 | <i>Tier 4</i> -indicatoren                                    | 530 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 9.4.3.2    | Inrichten van prestatie-indicatoren                        | 532        |
| 9.4.3.3    | Prestatiebeoordeling en bijsturen op basis van indicatoren | 534        |
| 9.4.3.4    | Regelmatige herziening van toegepaste indicatoren          | 535        |
| 9.4.4      | Aandachtspunten en valkuilen                               | 535        |
| <b>9.5</b> | <b><i>Plant ageing</i></b>                                 | <b>537</b> |
|            | <i>Remko van der Meijden</i>                               |            |
| 9.5.1      | Het begrip <i>ageing</i>                                   | 537        |
| 9.5.2      | Technische oorzaken van <i>ageing</i>                      | 539        |
| 9.5.3      | Niet-technische oorzaken van <i>ageing</i>                 | 540        |
| 9.5.3.1    | Organisatorische veroudering                               | 540        |
| 9.5.3.2    | Voortschrijdend inzicht                                    | 541        |
| 9.5.3.3    | Bedrijfseconomie   | 541        |
| 9.5.3.4    | Afhankelijkheid van derden                                 | 543        |
| 9.5.4      | Nabeschuwing   | 544        |
| <b>9.6</b> | <b>Brandveiligheidsplan</b>                                | <b>545</b> |
|            | <i>Ron de Bruijn</i>                                       |            |
| 9.6.1      | Belang en opzet van een brandveiligheidsplan               | 545        |
| 9.6.2      | Brandveiligheidsdoelen                                     | 545        |
| 9.6.2.1    | Algemene doelen  | 545        |
| 9.6.2.2    | Specifieke doelen en afwegingen                            | 546        |
| 9.6.3      | De waarde van branddetectiesystemen voor risicobeheersing  | 547        |
| <b>9.7</b> | <b>Explosieveiligheidsdocument</b>                         | <b>548</b> |
|            | <i>Rolf van Dijk</i>                                       |            |
| 9.7.1      | Eisen aan het explosieveiligheidsdocument                  | 549        |
| 9.7.2      | Stappenplan om te voldoen aan ATEX 153                     | 550        |
| 9.7.3      | Opbouw van een explosieveiligheidsdocument                 | 552        |
| 9.7.4      | Persoonskwalificaties                                      | 556        |
| 9.7.5      | Samenhang van maatregelen                                  | 557        |
| <b>9.8</b> | <b><i>Emergency response-organisatie</i></b>               | <b>559</b> |
|            | <i>Ed Oomes en Arie Duineveld</i>                          |            |
| 9.8.1      | Het belang van een <i>emergency response-organisatie</i>   | 559        |
| 9.8.1.1    | Analyse  | 559        |
| 9.8.1.2    | Veiligheidsketen   | 560        |
| 9.8.2      | Seveso-wetgeving   | 561        |
| 9.8.2.1    | Veiligheidsrapportages                                     | 562        |
| 9.8.3      | De organisatie van de hulpverlening                        | 563        |
| 9.8.3.1    | Bedrijfshulpverlening                                      | 564        |
| 9.8.3.2    | Bedrijfsbrandweer  | 565        |
| 9.8.3.3    | Zorgsysteem  | 566        |
| 9.8.3.4    | Crisisteam   | 566        |
| 9.8.4      | Nabeschuwing   | 567        |
| <b>9.9</b> | <b>De rol van de verzekeraars</b>                          | <b>568</b> |
|            | <i>Ron de Bruijn</i>                                       |            |
| 9.9.1      | Wat doen verzekeraars?                                     | 568        |
| 9.9.2      | Werkwijze van verzekeraars                                 | 568        |
| 9.9.3      | Regulering van verzekeraars                                | 570        |
| 9.9.4      | De Nederlandse verzekeringsmarkt                           | 571        |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 9.9.5 | Totstandkoming van een premie                       | 572 |
| 9.9.6 | Verzekeraars in de technische praktijk              | 573 |
| 9.9.7 | Risico-analyse en aanbevelingen vanuit verzekeraars | 576 |
| 9.9.8 | Nabeschouwing                                       | 577 |

|                 |            |
|-----------------|------------|
| <b>APPENDIX</b> | <b>579</b> |
|-----------------|------------|

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Gebruikte afkortingen         | 580 |
| Geraadpleegde literatuur      | 589 |
| Relevante normen              | 599 |
| Relevante praktijkrichtlijnen | 601 |
| Over de auteurs               | 603 |
| Over PHOV                     | 608 |