

Whitepaper

Predictive Maintenance

Zo baant een innovatieve onderhoudsstrategie de weg naar de toekomst van uw bedrijf



Predictive Maintenance stelt uw omzet en succes veilig

Als onderneming in de industriële productie weet u maar al te goed dat ongeplande stilstand en storingen van uw machines en systemen een groot risico voor uw bedrijfssucces vormen.

Als de productie stil komt te liggen en u uw levertermijnen niet kunt halen, kan dit leiden tot schadeclaims, boetes of verlies van orders.

Goed onderhouden machines en systemen zijn daarom een belangrijke bouwsteen voor het voortbestaan van uw bedrijf.

Elk industrieel productiebedrijf heeft daarom een onderhoudsstrategie nodig die stilstand minimaliseert en onverwachte storingen en de bijbehorende extra kosten proactief voorkomt.

In het verleden bestond deze strategie voornamelijk uit regelmatige onderhoudsintervallen en „repareer het als het kapot is“, maar net als grote bedrijven gaan kleine en middelgrote bedrijven nu steeds meer over op predictive maintenance met behulp van moderne sensoren, meetapparatuur en kunstmatige intelligentie. Hierdoor kunnen ze mogelijke storingsoorzaken in een vroeg stadium herkennen en onverwachte storingen en stilstand door onverwachte reparaties voorkomen. Het toverwoord: predictive maintenance - voorspellend onderhoud.

In deze whitepaper wordt uitgelegd hoe u de mogelijkheden van digitalisering kunt gebruiken voor een preventieve en voorspellende onderhoudsstrategie in de industriële productie.

Inhoudsopgave

1. Predictive Maintenance & onderhoud in de productie	4
Verliezen door productiestilstand: cijfers en feiten	5
Productiestilstanden als kostenfactor	6
2. Stap 1: Van reactief onderhoud naar preventief onderhoud	7
3. Stap 2: Preventief onderhoud – Planbaarheid in plaats van gokken	8
4. Stap 3: Predictive Maintenance: Real-time data voor optimaal onderhoud	9
Preventief versus Predictive Maintenance	9
Werking van Predictive Maintenance	10
Voordelen van Predictive Maintenance	10
5. Preventief en Predictive Maintenance in de praktijk	12
Trillingsanalyse	13
Infraroodanalyse	14
Circuitbewaking	15
6. Best practices	17
7. Conclusie	18
Bronnen	19

Predictive Maintenance & onderhoud in de productie

Elke ongeplande stilstand kost geld. In het ergste geval zijn vervangende onderdelen niet direct beschikbaar en liggen machines en installaties dagen of weken stil. Maar wie de signalen voor een dreigend defect ziet voordat het zich voordoet, kan op tijd vervangende onderdelen bestellen en ongeplande onderhoudswerkzaamheden zo plannen dat de productie minimaal wordt verstoord.

Uitdagingen uit het verleden: Machines en installaties waren vaak black boxes. Materiaalmoetheid, beschadigde onderdelen of andere slijtageverschijnselen werden pas ontdekt bij gepland onderhoud – of door een plotseling defect dat de productie stillegde.

Tegenwoordig kunnen we met sensoren en oplossingen die al de kleinste veranderingen binnenin de machines detecteren, onaangename verrassingen voorkomen. Dit maakt het mogelijk om een beschadigd onderdeel te vervangen voordat de machine uitvalt of verdere schade ontstaat.

Het integreren van moderne technologieën, zoals digitale sensoren en kunstmatige intelligentie, vermindert onverwachte uitvaltijden en verlengt de levensduur van machines aanzienlijk. Dit whitepaper beschrijft hoe u de digitalisering kunt benutten voor een preventieve en Predictive Maintenance-strategie.

Verliezen door productiestilstand: cijfers en feiten

80%

Weet u precies wat een ongeplande stilstand van een uur in uw productie uw bedrijf kost? Als dat zo is, behoort u tot een minderheid. Hoewel productiestilstanden in de industriële productie een van de grootste kostenposten zijn en zelfs een bedrijfsrisico kunnen vormen, weten veel bedrijven niet exact hoeveel een uur stilstand kost: Volgens de International Society of Automation (ISA) kan 80 procent van de bedrijven de kosten van productiestilstanden niet nauwkeurig inschatten.



Hoe hoog de daadwerkelijke verliezen bij een stilstand zijn, hangt voornamelijk af van de grootte en sector van het bedrijf en vele individuele (kosten)factoren. Vaak worden de gevolgen drastisch onderschat. Wanneer de productie door een defecte machine of installatie stilstaat en het oplossen van de storing lang duurt, stijgen de kosten snel. „Dan lopen de kosten al gauw op tot enkele honderden euro's per uur per installatie. Er zijn bedrijven die door ongeplande machinestilstanden jaarlijkse kosten hebben die in de vijf cijfers lopen of meer,“ aldus Jan Dornbach, onderhoudsdienstverlener.

50%

Volgens een onderzoek van Senseye onder 56 grote bedrijven in de productie- en verwerkende industrie zijn de kosten van uitval sinds 2020 sterk gestegen. In 2022 waren ongeplande uitval minstens 50 procent duurder dan in 2019/2020. Een fabriek verliest gemiddeld 25 uur productietijd per maand door ongeplande stilstanden. Vooral de auto-industrie wordt zwaar getroffen; hier kost een uur productieverlies het bedrijf meer dan 2 miljoen Amerikaanse dollar.

11%

Volgens Senseye gaat er jaarlijks ongeveer 11 procent van de omzet verloren door productiestilstanden.

5%

Volgens een studie van eMaint verliest een fabriek minstens 5 procent van haar productiecapaciteit door uitvaltijd, en veel fabrieken verliezen zelfs tot 20 procent. De auto-industrie en de metaalverwerkende industrie hebben jaarlijks de meeste stilstand.

Productiestilstanden als kostenverhogende factor

Zoals gezegd, elke minuut dat de productie stillstaat, kost het direct geld. In deze tijd wordt er geen output geproduceerd en wordt er geen winst gerealiseerd, terwijl de vaste kosten (zoals personeelskosten en onderhoud van de productielocatie) blijven doorlopen. Als het zoeken naar fouten of het verkrijgen van vervangende onderdelen bovendien veel tijd kost, stijgen de kosten verder. Daarnaast komen er extra uitgaven bij voor het verhelpen van storingen en fouten, die vaak worden onderschat.

Personeels- of servicekosten	Verlies van verkoopkansen	Lange wachttijden of leveringsproblemen
Reputatieschade	Opgebouwde overuren	Terugvorderingen

Helaas liggen de meest voorkomende redenen voor een ongeplande stilstand meestal in de structuren van de bedrijven zelf.

Want vaak:

- is er geen of een gebrek aan transparantie over de staat van de machines.
- wordt onderhoud slecht gepland
- is het onderhoud inadequaar door gebrek aan expertise of gereedschap
- komen individuele fouten van werknemers regelmatig voor
- zijn er onjuiste of inferieure reserveonderdelen beschikbaar

Voor elk bedrijf, en speciaal voor mkb's, is het cruciaal om al deze factoren mee te nemen in de berekening om de werkelijke kosten van een productiestilstand te kunnen bepalen. Het berekenen van deze kosten is één ding, maar de ideale situatie is om ze te vermijden. De sleutel hiervoor is de slimme optimalisatie van onderhouds- en reparatieprocessen.



Stap 1: Van reactief onderhoud naar preventief onderhoud

Veel productiebedrijven, vooral kleine bedrijven, vertrouwen naast hun reguliere onderhoudsintervallen nog steeds op reactief onderhoud (Reactive Maintenance). Het principe is eenvoudig: een ongeplande reparatie wordt pas uitgevoerd wanneer een machine of installatie niet meer operationeel is.

Deze onderhoudsmethode stamt uit een tijd waarin machines minder complex waren, waardoor storingen zeldzaam waren en reparaties relatief eenvoudig. Bovendien waren er toen geen moderne sensoren of mogelijkheden om gegevens te verwerken, die pas met de toenemende digitalisering beschikbaar kwamen.

Tegenwoordig is reactief onderhoud, door de steeds complexere productie-installaties en de voortschrijdende digitale netwerken van machines, meestal niet meer de meest effectieve en kostenefficiënte onderhoudsmethode. Het grootste nadeel is het gebrek aan planbaarheid. Storingen kunnen met reactief onderhoud niet worden voorzien en kunnen in het ergste geval optreden wanneer de situatie al gespannen is door veel opdrachten of personeelstekort. Bovendien kunnen personeelsinzet en de voorraad van reserveonderdelen niet worden gepland en gecombineerd, wat op de lange termijn zeer kostbaar is. Betere planbaarheid en effectieve kostenbesparingen zijn daarentegen mogelijk met preventief onderhoud (Preventive Maintenance).

Stap 2: Preventive Maintenance - Plannen in plaats van blind vertrouwen

Met preventief onderhoud (Preventive Maintenance) handelen bedrijven proactief. Het doel is om storingen te voorspellen en onderhoud en reparaties uit te voeren voordat er een productiestilstand optreedt. Hiervoor worden onderhoudsbeurten zo gepland en uitgevoerd dat ze enerzijds zo efficiënt mogelijk zijn en anderzijds de kans dat een machine uitvalt of niet meer operationeel is, tot een minimum wordt beperkt.

Deze methode maakt een enorme kostenbesparing mogelijk vergeleken met reactief onderhoud. Volgens de richtlijnen voor bedrijfs- en onderhoudspraktijken besparen bedrijven met preventief onderhoud naar schatting ongeveer twaalf tot achttien procent aan kosten.

Voordelen en procedures voor preventive maintenance

Naast de belangrijke kostenbesparingen heeft preventive maintenance ook andere voordelen:

- De levensduur van systemen wordt verlengd.
- Verdere gevolgen van een storing, zoals extra kosten of reputatieschade worden voorkomen.
- Reparatiekosten worden verlaagd.
- De arbeidsveiligheid van het personeel kan worden gegarandeerd.
- Verschillende onderhoudswerkzaamheden kunnen worden gecombineerd.
- Een beter overzicht van de opslag van reserveonderdelen en lagere kosten zijn mogelijk

Voor de planning van preventive maintenance kunnen verschillende benaderingen worden gebruikt. Bij de tijdgebaseerde methode maken bedrijven gebruik van hun eigen ervaringsgegevens. Onderhoudsbeurten worden gepland op basis van eerdere perioden waarin storingen of uitval zijn opgetreden (Mean Time Between Failures). De gebruiksgebaseerde methode houdt daarentegen rekening met waarden zoals het aantal cycli of de gebruiksduur van een machine, dus het daadwerkelijke gebruik en de daaruit voortvloeiende slijtage.

Ongeacht welke benadering wordt gebruikt, worden uiteindelijk onderhoudsplannen opgesteld waarin op terugkerende intervallen onderhoud wordt uitgevoerd. Daarnaast omvat het ook de regelmatige inspectie van machines. Voor het beheer van de onderhoudsprocessen, van de planning en het inplannen van servicebeurten tot aan de opvolging en optimalisatie, wordt meestal zogenaamde CMMS-software gebruikt (Computerized Maintenance Management System of computergestuurd onderhoudsbeheersysteem).

Stap 3: Preventive maintenance: Real-time gegevens voor optimaal onderhoud

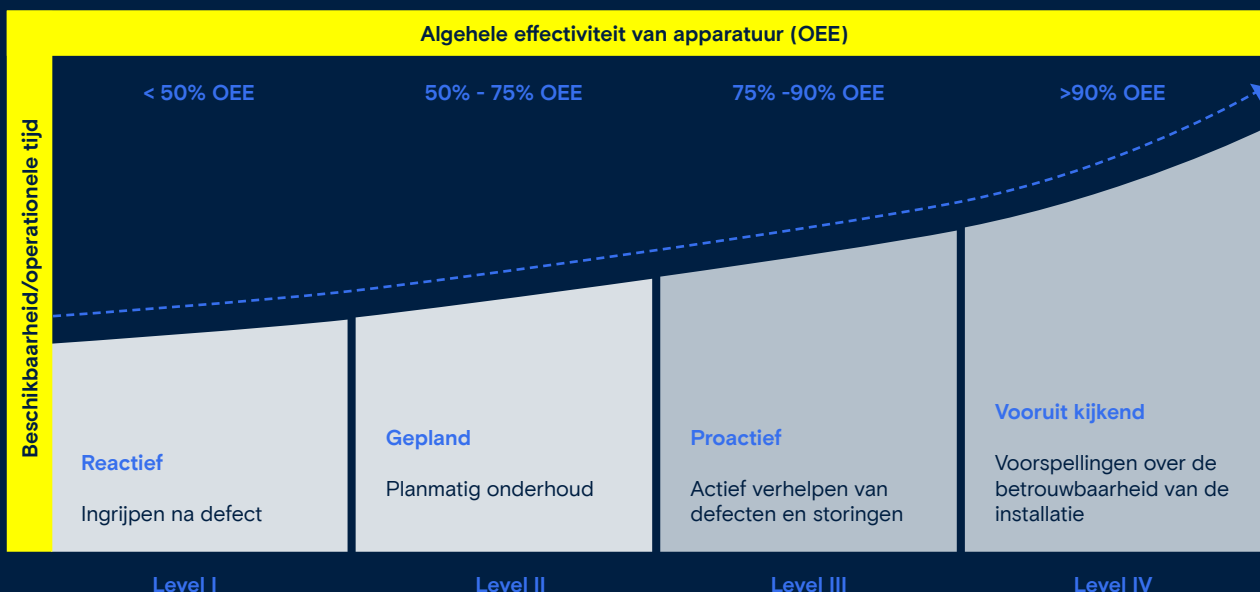
Preventive versus Predictive Maintenance

Preventief onderhoud is gebaseerd op controles op regelmatige intervallen, ongeacht de feitelijke staat van de machines en installaties. Hierbij vertrouwt het servicepersoneel op best practices en historische gegevens. Hoe beter een bedrijf zijn installaties kent, des te nauwkeuriger kunnen de servicebeurten worden gepland. De optimale (theoretische) onderhoudsintervallen die bij preventief onderhoud worden vastgesteld, kunnen echter slechts een benadering van de werkelijkheid zijn. Hier ligt ook de grootste uitdaging: als het onderhoud te vroeg wordt uitgevoerd, stijgen de kosten en ontstaan er onnodige stilstandtijden. Zijn de onderhoudsintervallen te lang, dan

neemt het risico op productiestilstanden toe.

Predictive maintenance daarentegen, is niet gebaseerd op schattingen van gebruiks- en slijtageperioden, maar op real-time gegevens van de machines. Door de analyse van real-time data kan het optimale onderhoudstijdstip zeer nauwkeurig worden bepaald. Reparaties worden gericht uitgevoerd, waardoor de stilstandstijden in vergelijking met andere onderhoudsmethoden 25 tot 30 procent korter zijn.

Met predictive maintenance vermijden bedrijven het risico om onderdelen te vroeg te vervangen (wat leidt tot hoge onderhoudskosten) of door te laat onderhoud een stilstand te veroorzaken.



Voordelen van Predictive Maintenance



Minder
arbeidsongevallen



geoptimaliseerde
middelenplanning



Langere levensduur
van de apparatuur



Verbeterde
productie



Lagere
onderhoudskosten



Lagere
uitvaltijden

Hoe werkt Predictive Maintenance

Bij deze onderhoudsmethode is het noodzakelijk dat machines zijn uitgerust met digitale sensoren, meetapparatuur en andere analysetools die alle relevante gegevens in real-time vastleggen. Vervolgens worden alle gegevens opgeslagen en vooral geanalyseerd.

Als basis speelt het „condition monitoring“ een cruciale rol binnen een nauwkeurige elektronische conditiebewaking, vooral wanneer het gaat om elektrische parameters die veranderen of wanneer een verandering zeer langzaam plaatsvindt. Meer informatie over dit onderwerp vindt u in onze gids „Condition Monitoring: De continue bewaking van de toestand van machines en installaties.“

Door de enorme hoeveelheid gegevens worden ook technologieën zoals kunstmatige intelligentie (KI) en machine learning (ML) ingezet. Deze berekenen de uitvalkansen van machines op basis van beschikbare sensorgegevens. Wanneer een anomalie wordt gedetecteerd, zoals minimale trillingsveranderingen binnenin de machine, ontvangt het serviceteam een waarschuwing nog voordat de stilstand optreedt.

Een ander voordeel van deze methoden is dat direct bekend is waar de storing of slijtage optreedt en er voldoende tijd is om de machine te repareren of onderdelen te vervangen voordat een uitvaltijd plaatsvindt. Bovendien is regelmatige toestandsbewaking, die op de lange termijn kostbaar is, niet meer nodig.

Veel bedrijven hebben het enorme potentieel van predictive maintenance al erkend. Volgens een studie van BearingPoint houdt 75 procent van de ondervraagde bedrijven zich bezig met deze onderhoudsaanpak en heeft een op de drie bedrijven al projecten voorbij de pilotfase gebracht. Toch is er nog steeds ruimte voor verbetering: sinds 2017 is de gemiddelde volwassenheid wel toegenomen, maar slechts 4 procent geeft aan dat zij het potentieel van voorspellend onderhoud volledig benutten in hun bedrijf.

Over één ding zijn echter alle bedrijven het eens: de investeringen zijn de moeite waard. De gerealiseerde projecten hebben geleid tot een kostenreductie van meer dan tien procent door het minimaliseren van stilstand van machines en installaties en de onderhoudskosten. De Boston Consulting Group schat de vermindering van ongeplande uitvaltijden door predictive maintenance met behulp van data science en KI zelfs op 20 tot 40 procent en de verlaging van de totale operationele kosten op 10 procent.



Preventive en Predictive Maintenance in de praktijk

In vrijwel elke industriële productie moeten essentiële machine- en installatieonderdelen worden gecontroleerd. Een groot deel hiervan bestaat uit vibratie- of trillingsanalyse, infraroodanalyse en stroomkringbewaking.

Trillings- of oscillatieanalyse

Roterende componenten, zoals motoren, pompen en tandwielkasten, spelen een cruciale rol bij het voorkomen van machinestoringen. Daarom is hun controle en bewaking in de vorm van trillings- of vibratieanalyses van groot belang.

Bij trillingsanalyse worden de vibraties gemeten en geanalyseerd die door een machine of onderdeel worden geproduceerd. Deze worden vergeleken met het normale trillingspatroon. Wanneer een anomalie wordt ontdekt, kan dit wijzen op problemen zoals onbalans, uitlijnfouten, slijtage of wrijving, die op de lange termijn kunnen leiden tot de aantasting en het falen van de machine. Zo kunnen tijdig tegenmaatregelen worden genomen.

Met een trillingsmeter kan de vibratieanalyse betrouwbaar worden uitgevoerd. Deze zeer gevoelige, externe sensoren worden meestal met een magnetische voet aan de machine bevestigd. Ze maken zelfs onder zeer beperkte omstandigheden of op moeilijk bereikbare plaatsen een betrouwbare analyse van het trillingsgedrag mogelijk, waarvan de resultaten direct op het display worden weergegeven.

Voorbeelden voor praktische trillingsmeters:
conrad.nl/trillingsmeters



Voltcraft VBM-85
trillingsmeter

De infraroodanalyse

Een ander belangrijk toepassingsgebied van preventief en voorspellend onderhoud is het bewaken van de temperaturen van machinedelen. Hierbij wordt infraroodanalyse of infraroodspectroscopie gebruikt om de temperatuur van een installatie te meten en te monitoren.

De infraroodanalyse is bijzonder geschikt voor bewegende delen.

Een verhoogde wrijving bij scharnieren en kogel-lagers kan zo vroegtijdig worden gedetecteerd, nog voordat de onderdelen uitvallen. Gemeten afwijkingen geven aan of inspectie en/of onderhoud nodig is. De infraroodanalyse kan voor verschillende machines worden gebruikt, mits er voldoende meetbare warmte wordt afgegeven. Een bijkomend voordeel is dat de analyse contactloos kan worden uitgevoerd, wat zorgt voor meer veiligheid voor het onderhoudspersoneel.

Hiervoor worden warmtebeeldcamera's gebruikt, waarop hotspots direct zichtbaar zijn en waarvan het temperatuurbereik van -20 tot 500 of zelfs 600 graden Celsius kan reiken. Bij kritieke machinecomponenten is het zinvol om de beelden van de warmtebeeldcamera inclusief temperatuurgegevens te archiveren. Dit maakt het mogelijk om de huidige toestand te vergelijken met eerdere situaties, wat de betrouwbaarheid van de huidige meting verhoogt.

Voorbeelden voor hoogwaardige warmtebe-eldcamera's

conrad.nl/warmtebeeldcameras



Testo 868s
Warmtebeeldcamera

Bewaken van het circuit

De continue bewaking van stroomkringen is essentieel voor de functionaliteit van machines en installaties. Alleen zo kunnen overbelastingen en mogelijke kortsluitingen worden vermeden. Hiervoor worden beschermingsschakelaars gebruikt die bij overbelasting of kortsluiting de betreffende stroomkring detecteren en deze van het net loskoppelen.

Communicatieve beschermingsschakelaars controleren bovendien continu installaties en machines en geven een alarm aan het servicepersoneel als een vooraf ingestelde grenswaarde, zoals bepaalde stroom- en/of vermogenswaarden, wordt overschreden. Daarna kan een inspectie en/of onderhoud worden uitgevoerd. Daarnaast

dienen de apparaten voor het bewaken van de stroomvoorziening van een machine, waardoor de beschikbaarheid van installaties aanzienlijk wordt verhoogd. Zo wordt volledige transparantie tot aan de eindstroomkring verkregen.

De basis van de stroomkringbewaking wordt gevormd door communicatieve stroomonderbrekers met geïntegreerde differentiaalstroombewaking. Deze apparaten worden draadloos verbonden met een datatransceiver (Powercenter 1000). De datatransceiver verzamelt de meetwaarden en stuurt ze door voor analyse naar eindapparaten zoals een pc of een mobiel apparaat, of naar een overkoepelende IoT-interface.

Voorbeelden van data-acquisitiemodules en stroomonderbrekers



Siemens
7KN11110-OMC00
Powercenter 1000



Siemens 5SL6016-
6MC vermo-
gensschakelaar
5SL6 COM



Siemens
5SL6016-6MF
vermogensscha-
kelaar 5SL6
COM RCM



Siemens
5SV60166MC16
Brandbeveili-
gingsschakelaar

Diverse mogelijkheden van circuitbewaking

Waarschuwingen berichten wanneer een grenswaarde wordt overschreden

Voorkom uitval door vroegtijdige reactie/ tegenmaatregel

Registratie van stroom, spanning, netfrequentie en temperatuur

Conclusies over storingen van bedrijfsmiddelen in de eindstroomkring.

Geïntegreerde schakelcyclus-, bedrijfsuren- en kortsluiting-teller.

Planbare vervanging van beschermingsschakelaars
Voorspellend onderhoud

Onderscheid tussen bewuste uitschakeling en foutgerelateerde activering.

Vereenvoudigde, gerichte en tijdsbesparende foutopsporing.

Metten van stroom-, energie- en vermogenswaarden.

Opdeling van het energieverbruik van de netinvoer tot de eindstroomkring.

Metten van differentiaalstromen over een breed frequentiebereik.

Vroegtijdige detectie en preventie van stilstanden en uitvallen.

Herinschakeling op afstand.

Automatische herstartfunctie
Individuele herstartfunctie parameterbaar

FI-test en automatische isolatieweerstandmeting.

Uitgebreide functies voor geautomatiseerde en planbare testen en documentatie.

Best practices

De introductie of overgang naar predictive maintenance brengt in eerste instantie veel uitdagingen met zich mee voor bedrijven. Fabrikanten weten vaak niet waar ze moeten beginnen of hoe ze het grootste voordeel kunnen halen uit de onderhoudsoptimalisatie. Op zoek naar de beste mogelijkheden kunnen deze best practices helpen.



Projectplannen helpen

Zoals bij de introductie van elk nieuw systeem, is het ook bij predictive maintenance-oplossingen essentieel om een gedetailleerd project- en actieplan op te stellen. Hierbij worden de doelen specifiek, meetbaar, aantrekkelijk, realistisch en tijdgebonden geformuleerd (SMART-methode). Door de voortgang voortdurend te controleren, kunnen medewerkers de nieuwe eisen gemakkelijker accepteren en stap voor stap nieuwe vaardigheden leren.



Minder is meer

In plaats van een volledige overstap naar predictive maintenance-oplossingen die op machine learning gebaseerd zijn, is het verstandig om met kleine pilotprojecten te beginnen. Een optimale start is om met één of twee bijzonder geschikte machines te beginnen, waarmee kennis kan worden opgebouwd en ervaring kan worden opgedaan.



Klaar maken en opschalen

Zodra het pilotproject succesvol is gebleken, is het belangrijk om direct door te gaan. Het goede nieuws is dat predictive maintenance-oplossingen snel kunnen worden opgeschaald. Binnen zes tot twaalf maanden kan een bedrijf zich ontwikkelen van enkele verbonden machines tot een slimme fabriek.



→ Samenvatting

Voor mkb's in de industriële productie is de ontwikkeling van onderhoudsstrategieën een essentiële factor voor de concurrentie- en aanpassingsvermogen. Verouderde onderhoudsmethoden zoals reactief onderhoud zijn bij de complexiteit en netwerking van moderne productiefaciliteiten verre van voldoende en laten de kosten snel stijgen.

Hoewel de introductie bedrijven voor nieuwe uitdagingen stelt, zullen ze er op middellange en lange termijn niet omheen kunnen. Kortom: de digitalisering is hier om te blijven. En alleen wie nu slim investeert in zijn onderhoudsstrategie, maakt zijn bedrijf toekomstbestendig en concurrerend.

Voor degenen die geen tijd willen verliezen, raden we aan direct te kijken naar talloze componenten en hun toepassingen die uw instap vergemakkelijken:

- Optimal uitgerust voor onderhoud, productie en veiligheid: voorspellen, handelen, profiteren – een overzicht
- Meetinstrumenten, milieumeettechniek, test- en controleapparatuur en nog veel meer: Voorspellend onderhoud in de praktijk
- Kwaliteit in de industriële productie: Zonder de perfecte basisuitrusting gaat het niet

Bronnen

[1] ISA: How Much Is Plant or Facility Downtime Costing You?

<https://blog.isa.org/downtime-factory-plant-industrial-costs-risks>

[2] LokalPlus: „Jede Stunde Maschinenstillstand kostet ein Unternehmen bares Geld,„

<https://www.lokalplus.nrw/olpe/jede-stunde-maschinenstillstand-kostet-ein-unternehmen-bares-geld-51439>

[3] Siemens: SENSEYE PREDICTIVE MAINTENANCE - The True Cost of Downtime 2022

<https://www.lokalplus.nrw/olpe/jede-stunde-maschinenstillstand-kostet-ein-unternehmen-bares-geld-51439>

[4] eMaint: Kosten von Ausfallzeiten in der verarbeitenden Industrie

https://www.emaint.com/de/works/manufacturing_downtime_infographic/#:~:text=Tats%C3%A4chlich%20verliert%20fast%20jede%20Fabrik,Produktion%2C%20Umsatzerwartungen%2C%20Engp%C3%A4sse%20und%20mehr

[5] Industrial Production: Prädiktive oder präventive Wartung?

<https://www.industrial-production.de/instandhaltung/praediktive-oder--praeventive-wartung-.htm>

[6] BearingPoint: Predictive Maintenance Studie 2021

<https://www.bearingpoint.com/de-de/insights-events/insights/chancen-und-herausforderungen-von-predictive-maintenance-in-der-industrie/>

[7] Boston Consulting Group: Charting AI's Successful Course in Predictive Maintenance

<https://www.bcg.com/publications/2023/predictive-maintenance-in-manufacturing>