

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

# Conditiebewaking met intelligente frequentieregelaars

[drives.danfoss.nl](https://drives.danfoss.nl)  
[danfoss.be](https://danfoss.be)

VLT | VACON®

## Evolutie van **Industriële automatiseringssystemen**

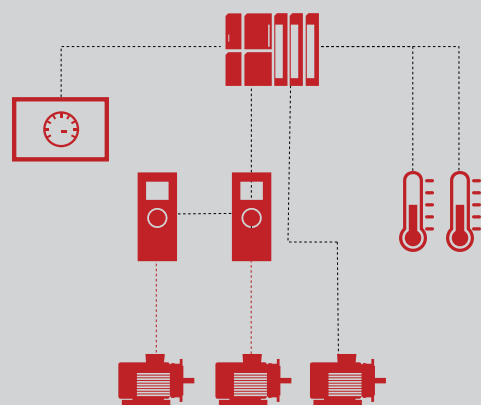
Tijdens de overgang naar het huidige millennium hebben we een sterke verandering in technologie gezien, die heeft geleid tot een geheel nieuwe manier van werken in een digitale wereld. Dit is de vierde industriële revolutie. De eerste industriële revolutie, die plaatsvond in de 18e en 19e eeuw, was een mechanische revolutie, door de uitvinding van de stoommachine. Aan het eind van de 19e en het begin van de 20e eeuw vond de tweede industriële revolutie plaats, met de komst van massaproductie, elektrificatie en veranderingen op het gebied van communicatie. Die periode wordt ook wel de Elektrische revolutie genoemd. Later in de 20e eeuw bracht de derde industriële revolutie ontwikkelingen op het gebied van halfgeleiders, informatica, automatisering en het internet. Deze fase staat ook wel bekend als de Digitale revolutie.

De vierde industriële revolutie is ontstaan onder invloed van netwerkcomputers, mensen en apparaten die werken op basis van data en machinaal leren. Hoewel de term 'Industry 4.0' tamelijk vaag is, is er een definitie die Industry 4.0 beschrijft als het intelligent netwerken van mensen, apparaten en systemen door gebruik te maken van alle mogelijkheden van digitalisatie in de volledige waardeketen.

## Trends in **Industry 4.0 Automatiseringssystemen**

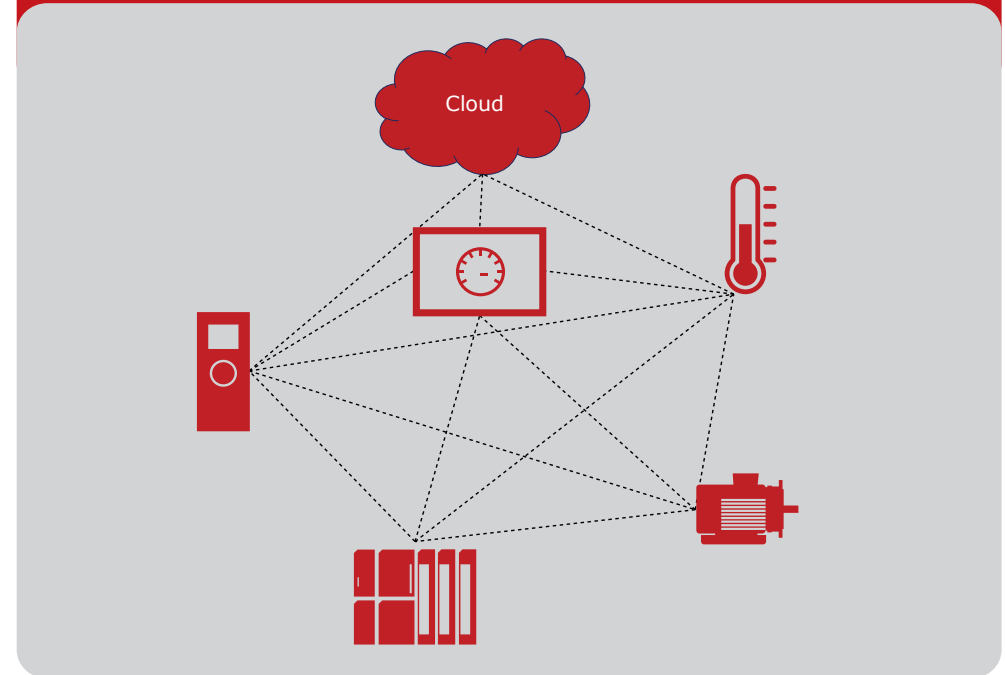
De impact van Industry 4.0 op motorsystemen is een migratie van de 'automatiseringspiramide' naar 'netwerksystemen'. Dat houdt in dat de diverse elementen van het systeem, zoals motoren, frequentieregelaars, sensoren en besturingen, onderling zijn verbonden via een cloud – een datacentrum waar gegevens worden opgeslagen, verwerkt en geanalyseerd en waar beslissingen worden genomen.

Afbeelding: Automatiseringspiramide





Afbeelding: Automatiseringsnetwerk



In een automatiseringsnetwerk is er een aanzienlijke hoeveelheid data. Omdat alle data hoofdzakelijk wordt geleverd door sensoren, neemt het aantal sensoren in moderne automatiseringssystemen toe. Motoren en aangedreven machines zoals ventilatoren, pompen en transportbanden zijn niet de meest vanzelfsprekende deelnemers in een datanetwerk. Er zijn daarom sensoren nodig om de data van deze machines te verzamelen. De sensoren zijn op diverse manieren met het datanetwerk verbonden om de gegevens te kunnen gebruiken. Bij de introductie van een geavanceerd conditiebewakingssysteem worden de extra kosten voor sensoren en connectiviteit vaak als een obstakel gezien.

Moderne frequentieregelaars bieden nieuwe mogelijkheden in het Industry 4.0 automatiseringsnetwerk. Voorheen werden frequentieregelaars vaak gezien als vermogensprocessors voor het regelen van het motortoerental. Tegenwoordig maken frequentieregelaars ook deel uit van de informatieketen, dankzij hun ingebouwde rekenkracht, opslagcapaciteit en communicatie-interface.



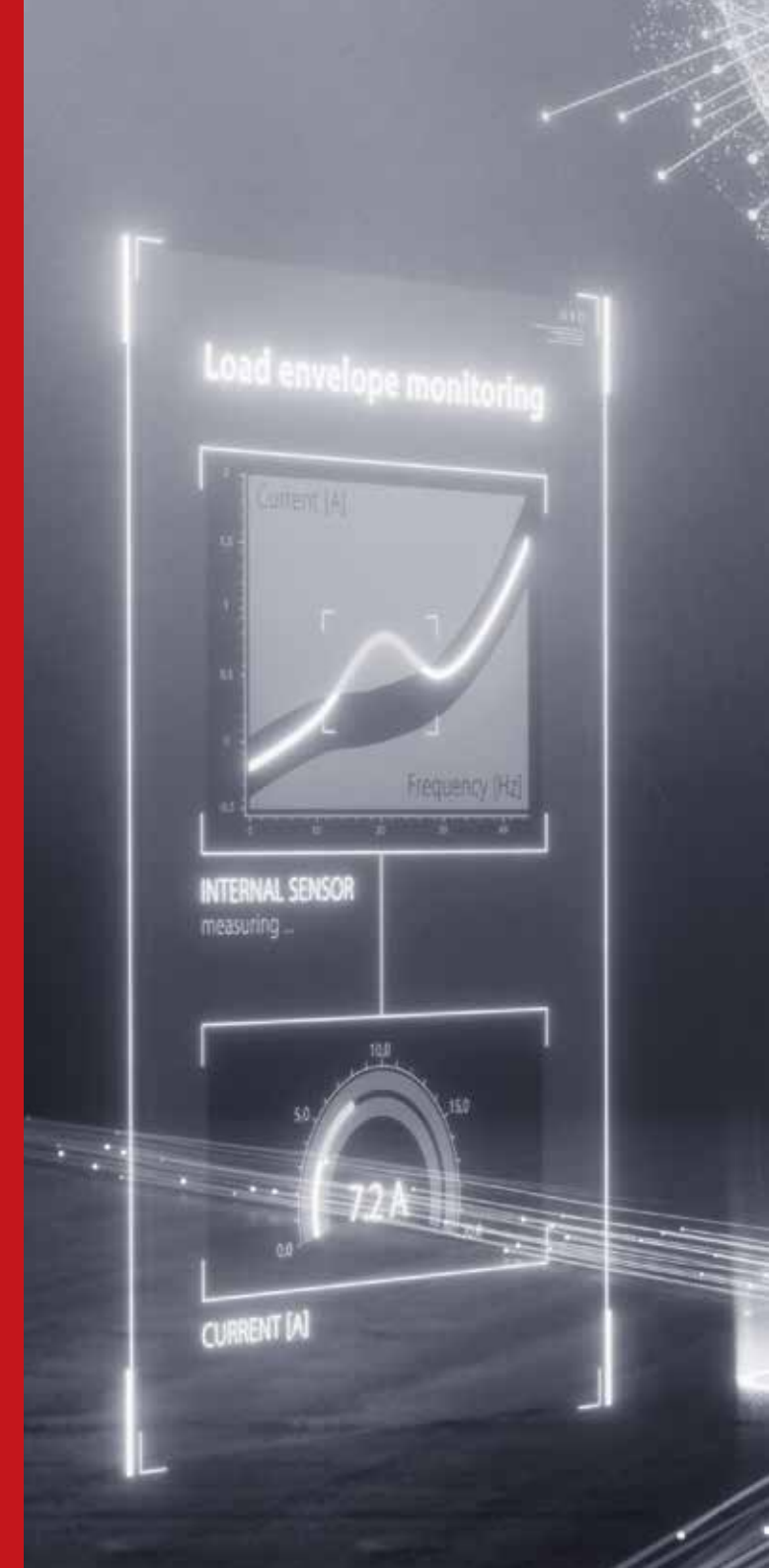
## Wat is een **intelligente frequentieregelaar**?

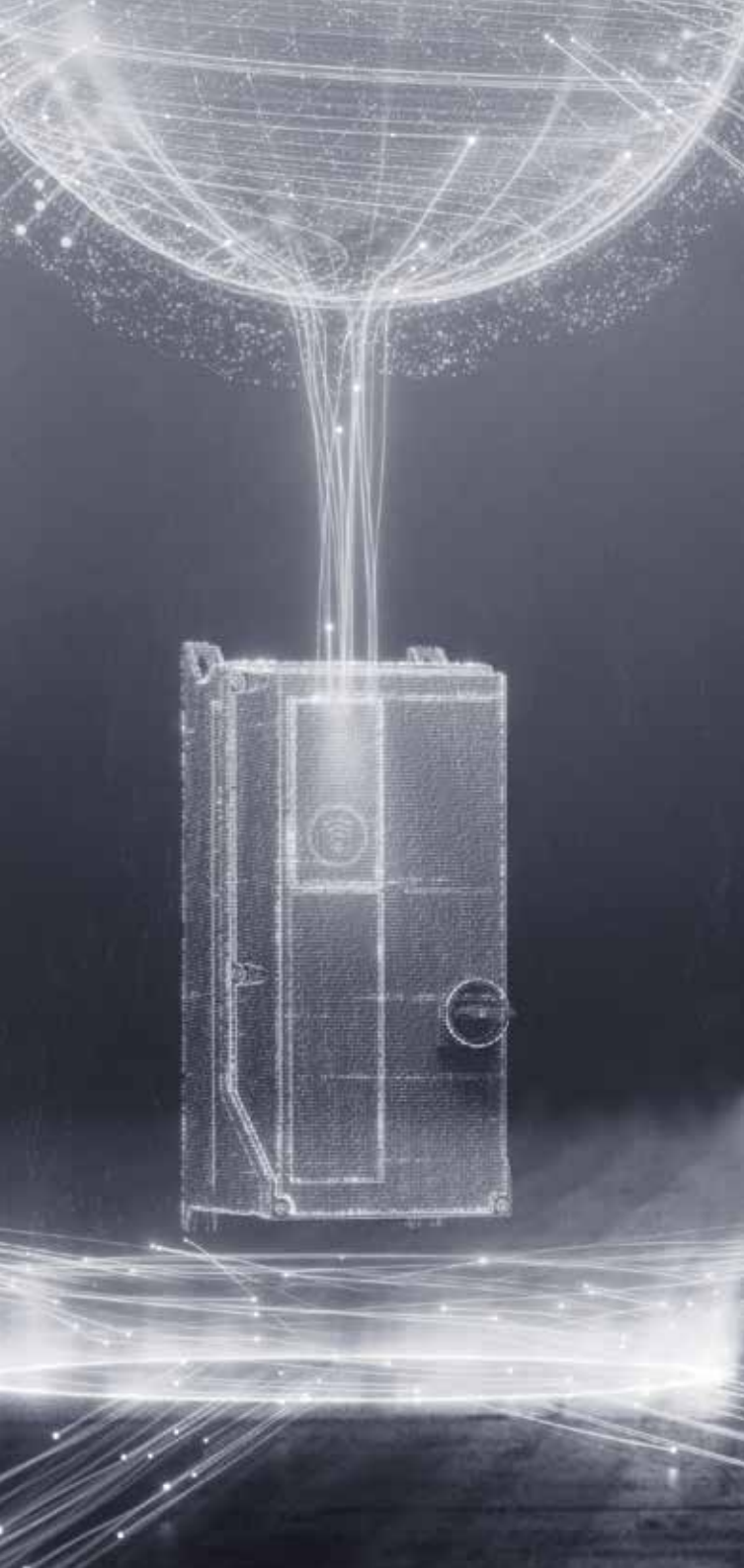
In het Industry 4.0 netwerk speelt de frequentieregelaar een belangrijke rol, dankzij een aantal nuttige kenmerken:

- **Veilige connectiviteit:** De frequentieregelaar kan op een veilige manier verbinding maken met andere elementen. Andere elementen in het netwerk kunnen frequentieregelaars, plc's, sensoren en een cloud omvatten.
- **De frequentieregelaar fungeert als sensor:** De frequentieregelaar gebruikt de analyse van de motorstroom- en spanningssignatuur om de prestaties van de motor en de toepassing te meten.
- **De frequentieregelaar fungeert als sensorhub:** De frequentieregelaar verzamelt data van externe sensoren met betrekking tot het proces dat door de frequentieregelaar wordt geregeld.
- **De frequentieregelaar fungeert als regelaar:** De frequentieregelaar kan de plc vervangen in toepassingen waar dat mogelijk is.
- **Voeg uw eigen apparaat toe:** Draadloze connectiviteit met slimme apparaten (smartphone, tablet).

Informatie vanuit de frequentieregelaar kan als volgt worden geïdentificeerd:

- **Momentele signalen:** Signalen die direct door de frequentieregelaar worden gemeten door middel van ingebouwde sensoren. Gegevens zoals motorstroom, spanning, frequentieregelaartemperatuur en afgeleiden daarvan, zoals vermogen als een vermenigvuldiging van stroom en spanning, of motorkoppel. De frequentieregelaar kan bovendien worden gebruikt als hub voor het verbinden van externe sensoren die momentele signalen leveren.
- **Verwerkte signalen:** Signalen die zijn afgeleid van de momentele signalen. Denk daarbij aan statistische verdeling (maximum, minimum, mediaan en standaard afwijkingswaarden), frequentiedomeinanalyse of missieprofielindicatoren.
- **Analytische signalen:** Signalen die indicaties geven van de conditie van de frequentieregelaar, motor en toepassing. De signalen worden gebruikt om onderhoud te activeren of leiden tot verbeteringen in het systeemontwerp.





Op basis van signatuuranalysetechnieken voor de motorstroom kan de frequentieregelaar de conditie van de motor en de toepassing bewaken. De technieken maken fysieke sensoren bijna overbodig en maken het mogelijk om vroegtijdig foutsignaturen op te merken, die anders niet zouden zijn ontdekt. Zo maakt deze techniek het bijvoorbeeld mogelijk om wikkelfouten van tevoren te detecteren, evenals excentrische mechanische belastingen.

Het concept van de frequentieregelaar als sensorhub omvat het aansluiten van externe sensoren op de frequentieregelaar, waardoor er geen gateway nodig is om de fysieke sensor aan het netwerk te koppelen. Trillingssensoren, druksensoren en temperatuursensoren zijn voorbeelden van sensoren die op de frequentieregelaar kunnen worden aangesloten. Het voordeel van het concept heeft niet alleen betrekking op de kosten maar ook op de mogelijkheid om verbanden te leggen tussen sensorgegevens en andere typen gegevens die in de frequentieregelaar beschikbaar zijn. Een duidelijk voorbeeld is de correlatie tussen het trillingsniveau van een externe sensor met het motortoerental, aangezien trillingen afhankelijk zijn van het toerental.

## Condition-based onderhoud

Hieronder volgen diverse voorbeelden van onderhoudsstrategieën:

- **Correctief onderhoud:** Het product wordt vervangen nadat een fout is opgetreden.
- **Preventief onderhoud:** Het product wordt vervangen voordat er een fout optreedt, hoewel het product geen meldingen heeft gegenereerd.
- **Condition-based onderhoud:** Het product genereert een waarschuwing wanneer de feitelijke levensduur van het product afwijkt van de verwachte levensduur, en er worden mogelijke onderliggende oorzaken aangegeven.
- **Voorspellend onderhoud:** Het product genereert een waarschuwing voordat het product het gespecificeerde aantal bedrijfsuren bereikt, om een onderhoudsactie te initiëren.

## Waarom is **condition-based onderhoud nodig?**

Correctief en preventief onderhoud zijn gebaseerd op fouten (gebeurtenissen) of tijd. Dat betekent dat er onderhoud wordt uitgevoerd als er een of meer fouten optreden (correctief) of na een vooraf ingesteld aantal bedrijfsuren (preventief). Deze typen onderhoud vereisen geen terugkoppeling vanuit de feitelijke toepassing.

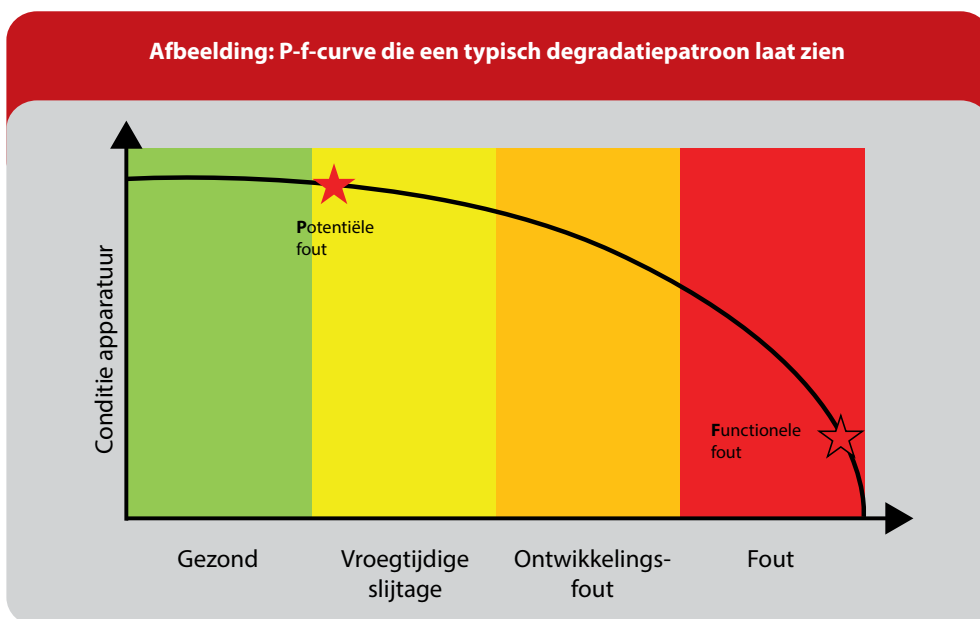
Dankzij de introductie van Industry 4.0 en de beschikbaarheid van sensorgegevens behoren condition-based onderhoud en voorspellend onderhoud nu tot de mogelijkheden. Dergelijke onderhoudsstrategieën gebruiken actuele sensorgegevens om de conditie van de apparatuur tijdens bedrijf te bepalen (condition-based onderhoud) of om toekomstige fouten te voorspellen (voorspellend onderhoud).

## Condition-based onderhoud

### Overzicht en voordelen

Condition-based onderhoud is de eenvoudigste en meest intuïtieve onderhoudstechniek op basis van gegevens vanuit de feitelijke toepassing. De verzamelde gegevens worden gebruikt om de gezondheid van de apparatuur tijdens bedrijf te bewaken. Daarvoor worden belangrijke parameters geselecteerd als indicator voor het identificeren van fouten die zich ontwikkelen. De conditie van een apparaat verslechtert gewoonlijk na verloop van tijd. Dat wordt geïllustreerd door de P-f-curve die een typisch degradatiepatroon laat zien. Een functionele fout treedt op wanneer de apparatuur de beoogde functie niet kan uitvoeren. Condition-based onderhoud dient om de potentiële fout te detecteren voordat de fout daadwerkelijk optreedt.

Afbeelding: P-f-curve die een typisch degradatiepatroon laat zien



In dit geval biedt het plannen van onderhoudsacties veel voordelen, zoals:

- Minder downtime
- Eliminatie van onverwachte productieonderbrekingen
- Optimalisatie in onderhoud
- Kleinere voorraad reserveonderdelen





## Conditiebewakingsfuncties voor frequentieregelaars

Het bewaken van de conditie van de apparatuur vormt een integraal onderdeel van condition-based onderhoud. In toepassingen met variabel toerental hangt de conditie van de toepassing vaak af van het toerental. Zo zijn trillingsniveaus doorgaans hoger bij hogere toerentallen, hoewel die relatie niet lineair is. Het is zelfs zo dat resonantie kan optreden bij bepaalde toerentallen en kan verdwijnen wanneer het toerental verder wordt verhoogd.

Het gebruik van een onafhankelijk systeem om de conditie van een toepassing met variabel toerental te bewaken, wordt bemoeilijkt doordat het toerental en de daaraan gerelateerde gecontroleerde waarde met toerental bekend moeten zijn. Het inzetten van frequentieregelaars voor conditiebewaking ('frequentieregelaar als sensor' of 'frequentieregelaar als sensorhub') is een gunstige oplossing, aangezien de informatie over het toerental van de toepassing al in de frequentieregelaar beschikbaar is. Daarnaast is ook informatie over belasting/motorkoppel en acceleratie al beschikbaar in de frequentieregelaar.

## Conditiebewaking verloopt volgens **een drie-stappen-plan:**

1. Bepaal een referentiewaarde (de baseline).
2. Definieer drempelwaarden.
3. Voer de bewaking uit.

### Bepaal **een referentiewaarde (baseline)**

Voor een efficiënt conditiebewakingssysteem is de eerste, belangrijke stap de normale bedrijfscondities bepalen en vastleggen. Het bepalen van een referentiewaarde heeft betrekking op het definiëren van de normale bedrijfscondities voor de toepassing. Dat is de referentiewaarde. Er zijn diverse manieren om de referentiewaarden te bepalen.

**Handmatige referentie:** Wanneer de referentiewaarden worden bepaald op basis van eerdere ervaringen, worden de bekende waarden in de frequentieregelaar geprogrammeerd.

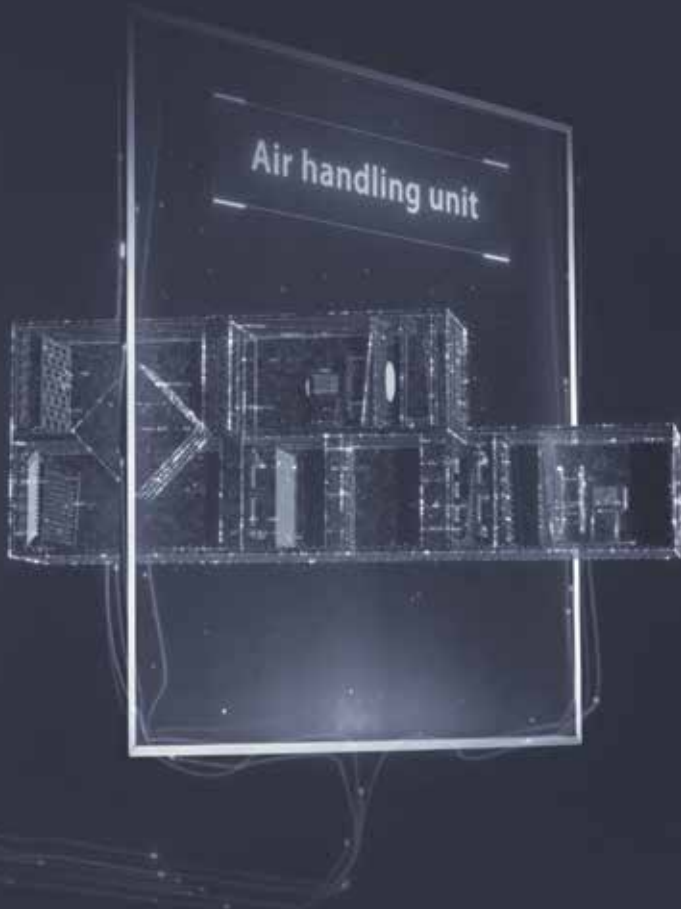
**Referentiemeting:** De referentiewaarden kunnen bij de inbedrijfstelling worden bepaald. Met deze methode wordt er een toerentalsweep uitgevoerd in het relevante toerentalbereik, waarbij de conditie bij elk toerentalpunt wordt bepaald. Bij bepaalde scenario's tijdens de inbedrijfstelling kan het echter gebeuren dat de toepassing niet op vol vermogen werkt of dat er een inlooperperiode nodig is. In dergelijke situaties moet de referentiemeting na de inlooperperiode worden uitgevoerd om een bedrijfsstatus vast te leggen die het normale bedrijf zo dicht mogelijk benadert.

**Online referentie:** Dit is een geavanceerde methode waarbij de referentiegegevens tijdens normaal bedrijf worden verzameld. Dat is nuttig in situaties waarbij een referentiemeting niet kan worden uitgevoerd omdat de toepassing het verkennen van het volledige toerentalbereik niet toestaat.

Als de referentiewaarden zijn bepaald, is de volgende stap drempelwaarden voor waarschuwingen en alarmen definiëren. De drempelwaarden geven de conditie van de toepassing aan waarbij de gebruiker moet worden gewaarschuwd. Er zijn diverse manieren om de conditie van de apparatuur aan te geven. Een van de gangbaarste manieren in de industrie is een verkeerslichtstatus met vier kleuren, zoals beschreven in **VDMA specification 24582 Fieldbus neutral reference for condition monitoring in factory automation**.







De kleuren geven het volgende aan:

- **Groen:** geeft aan dat de apparatuur in een goede conditie verkeert en efficiënt werkt.
- **Geel:** geeft Waarschuwningsniveau 1 aan, wat inhoudt dat de eerste drempelwaarde is overschreden. Er kan een onderhoudsactie worden ingepland door onderhoudspersoneel.
- **Oranje:** geeft Waarschuwningsniveau 2 oftewel een kritisch niveau aan, wat inhoudt dat de tweede drempelwaarde is overschreden. Er moet onmiddellijk een onderhoudsactie worden uitgevoerd door onderhoudspersoneel.
- **Rood:** geeft een alarm aan, wat inhoudt dat de machine stopt met werken en herstellend onderhoud vereist is.

## Drempelwaarden voor **waarschuwingen en alarmen** definiëren

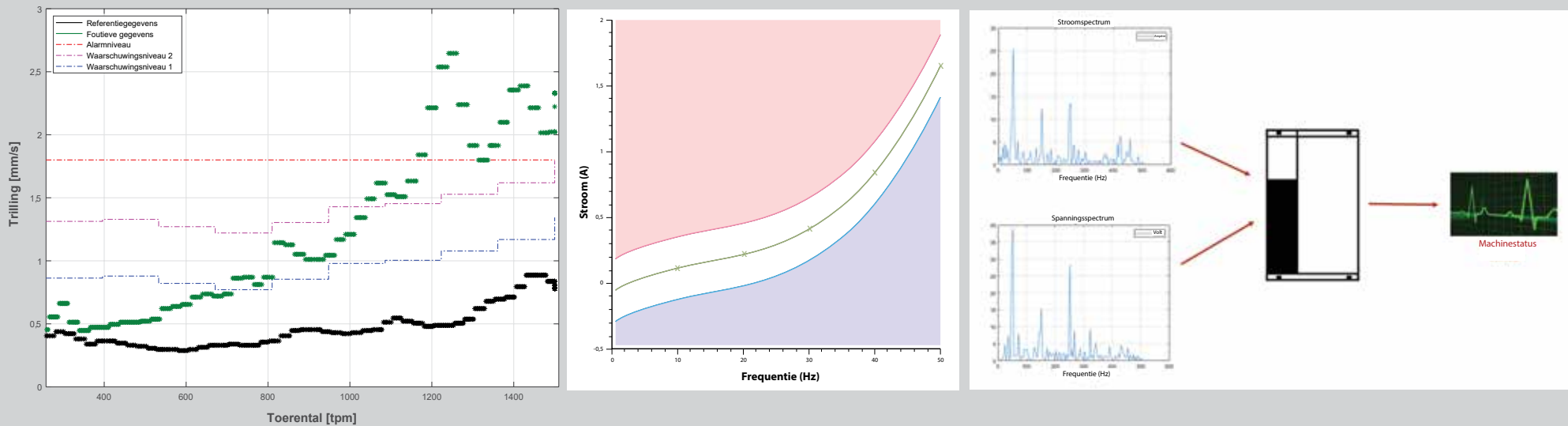
De volgende methoden worden gebruikt om drempelwaarden te definiëren:

- **Absoluut:** Dit is de gangbare methode wanneer de apparatuurwaarden al bekend zijn. De drempelwaarde is een vaste waarde, ongeacht de gemeten referentiewaarde. Bijvoorbeeld, wanneer de operator de absolute grens voor de apparatuur kent, wordt er voor de alarmdrempel een absolute waarde ingesteld. In geval van trillingsbewaking kunnen de grenswaarden die in normen zoals ISO 10816/20816 worden beschreven, als absolute waarde voor de alarmdrempel worden gebruikt.
- **Offset:** De offsetmethode voor drempelwaarden vereist een goede kennis van de toepassing en van referentiewaarden. De drempelwaarde wordt bepaald door de referentiewaarde, waarop een door de gebruiker gedefinieerde offset wordt toegepast. Daarbij bestaat het risico dat er een zeer lage of hoge waarde wordt ingesteld, wat kan leiden tot fout-positieven. Onjuiste instellingen kunnen leiden tot een gebrekkige bewaking, ook als er fouten optreden.
- **Factor:** Deze methode is eenvoudiger te gebruiken dan offset, omdat hiervoor minder kennis van de toepassing vereist is. De drempelwaarde wordt bepaald door de referentiewaarde, die met een bepaalde factor wordt vermenigvuldigd. Zo kan de drempelwaarde bijvoorbeeld 150% van de referentiewaarde bedragen. Daarbij bestaat het risico dat er een zeer hoge drempelwaarde wordt ingesteld.

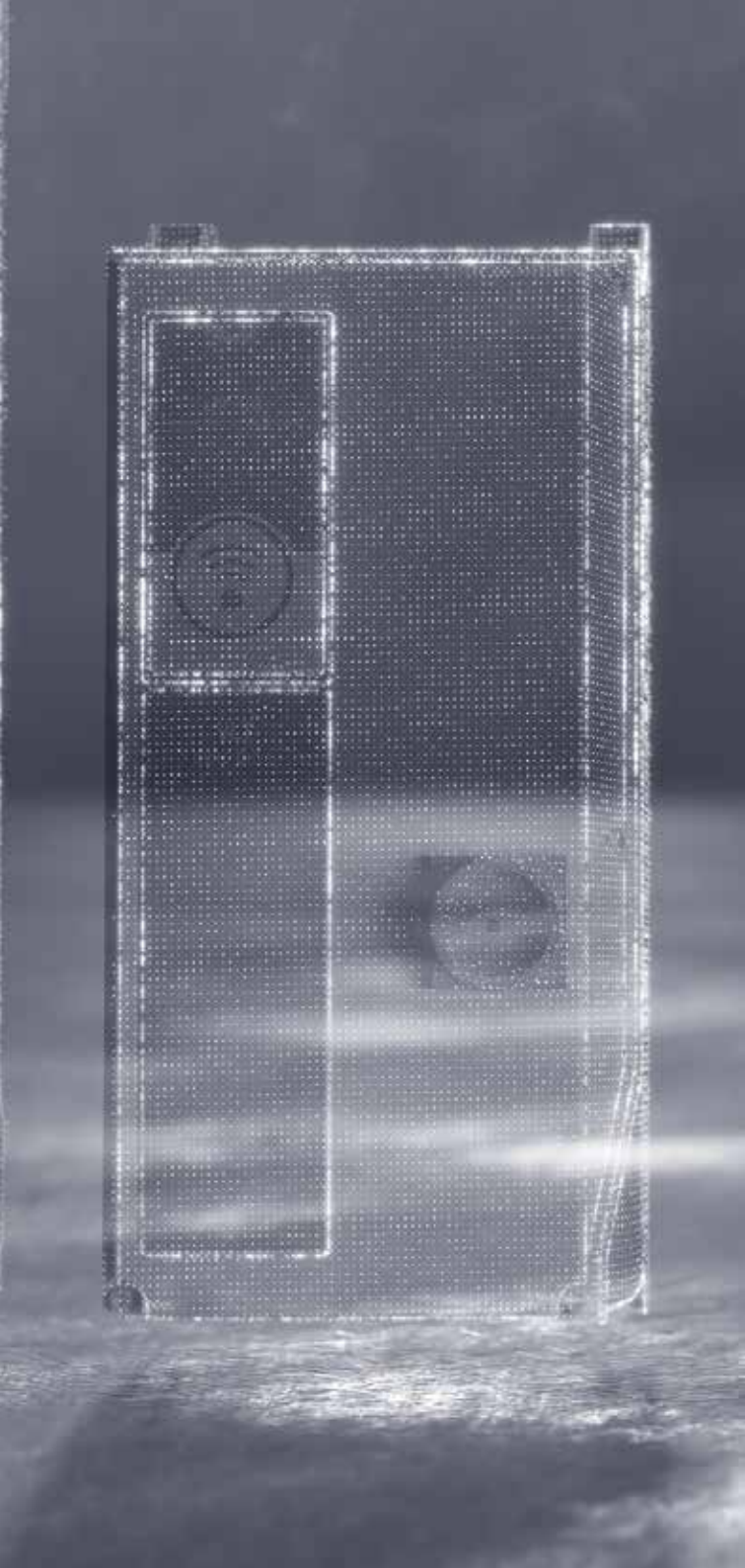
# Bewaking

De bewaking wordt uitgevoerd door middel van continue vergelijking met de drempelwaarden. Tijdens normaal bedrijf worden de actuele waarden vergeleken met de drempelwaarde. Wanneer de bewaakte parameters een drempelwaarde gedurende een vooraf ingestelde tijd overschrijden, wordt er een waarschuwing of een alarm gegenereerd. De timer wordt geconfigureerd om als een filter te werken, zodat kortstondige transiënten geen waarschuwingen en alarmen veroorzaken.

Afbeelding: Technieken voor Condition Based Monitoring



Actuele gecontroleerde waarden kunnen vanuit de frequentieregelaar worden uitgelezen via het LCP, veldbuscommunicatie of IoT-communicatie. Bovendien kunnen digitale uitgangen worden geconfigureerd om op specifieke waarschuwingen en alarmen te reageren. Sommige frequentieregelaars zijn uitgerust met een ingebouwde webserver die ook kan worden gebruikt voor het uitlezen van de conditiestatus.



## Conclusie

Tegenwoordig zijn frequentieregelaars meer dan enkel eenvoudige vermogensprocessors. Dankzij hun vermogen om als sensoren en sensorhubs te fungeren en om gegevens te verwerken, op te slaan en te analyseren, in combinatie met hun connectiviteitsmogelijkheden, zijn frequentieregelaars vitale elementen in moderne automatiseringssystemen.

Frequentieregelaars zijn al aanwezig in automatiseringsinstallaties en bieden daarom een uitgelezen kans om te upgraden naar Industry 4.0.

Dat biedt nieuwe manieren om onderhoud uit te voeren, zoals condition-based onderhoud. De functies zijn al beschikbaar in bepaalde frequentieregelaars en early adopters zijn al begonnen om de frequentieregelaar als sensor te gebruiken.

Ga naar **danfoss.nl** voor meer informatie  
Ga naar **danfoss.be** voor meer informatie