

Het onderscheid tussen nauwkeurigheid en onzekerheid in 5 stappen



Het verschil tussen meetnauwkeurigheid en meetonzekerheid

De meetinstrumenten waarmee we metingen uitvoeren aan kritische processen, selecteren wij met de grootste zorg. Dat doen we op basis van specificaties, waarbij we met name kijken naar bereik, nauwkeurigheid en drift. Zulke instrumenten gebruiken we voor het uitvoeren van metingen, steekproeven of (semi-)continue monitoring voor procesbewaking.

Is het proces kritisch? Dan is het noodzakelijk om de instrumenten periodiek te kalibreren. Er is een groeiende behoefte dat deze kalibraties volledig herleidbaar zijn naar de internationale standaarden. **ISO 17025** is een internationale ISO-norm met eisen voor kalibratie- (en test-)laboratoria. We kunnen stellen dat er sprake is van een bekende **meetonzekerheid** wanneer:

- Kalibraties worden uitgevoerd in overeenstemming met deze normen;
- En het bedrijf dat deze kalibraties uitvoert wordt gecontroleerd en goedgekeurd door een accreditatieinstelling.

Deze meetonzekerheid is van ongekend belang bij het toetsen. Meetonzekerheid is echter iets anders dan de nauwkeurigheid van een instrument.

In deze whitepaper leggen we het verschil tussen meetnauwkeurigheid en meetonzekerheid stap voor stap uit.

1. **Het te meten proces**
2. **Kalibratie**
3. **Justeren**
4. **Toetsing**
5. **Afstemmen van de specificatie**

Begrippen en afkortingen

Kalibratie

Vaststellen van een afwijking ten opzichte van een 'standaard'

UUT

Unit Under Test, het instrument wat gekalibreerd wordt

TUR

Test Uncertainty Ratio
De verhouding tussen de nauwkeurigheid van de UUT en de meetonzekerheid van de kalibratie die wordt uitgevoerd

Toetsing

Bepalen of een instrument voldoet aan vooropgestelde specificaties

Nauwkeurigheid

De maximale afwijking van een meetinstrument ten opzichte van de standaard

Herleidbaarheid

Een ononderbroken keten van kalibraties van de 'internationale standaard' naar de standaard die tijdens de kalibratie wordt gebruikt

(Meet)standaard

Referentiewaarde herleidbaar naar internationale standaarden

Procestoleranties

De grenzen waarbinnen een proces moet blijven om aan de kwaliteitseisen te voldoen

Kalibratielimieten

Welke maximale afwijking het meetinstrument mag hebben

Fabrieksspecificaties

Specificaties van het meetinstrument zoals opgegeven door de fabrikant/leverancier

OOT

Out Of Tolerance. Een situatie waarin het meetinstrument buiten de vooraf gedefinieerde specificaties valt

Justeergrens

Worden gekozen om een waargenomen afwijking te corrigeren voordat een OOT situatie begint

1

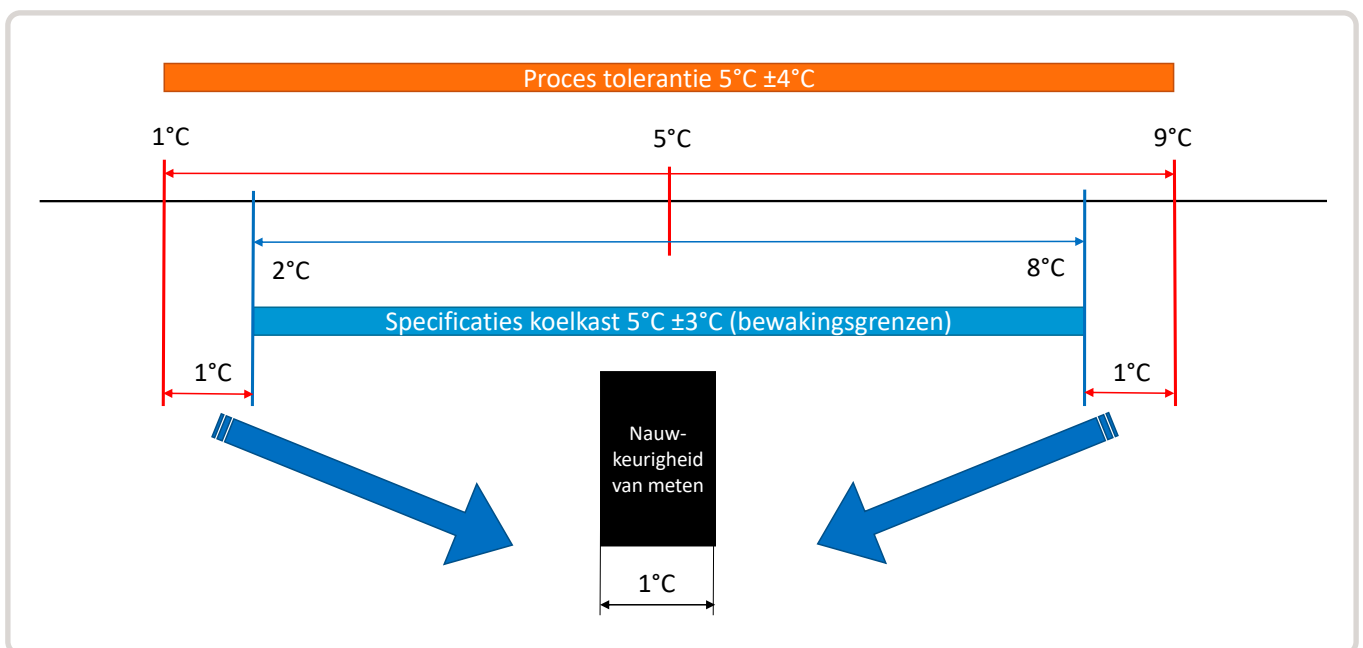
Het te meten proces

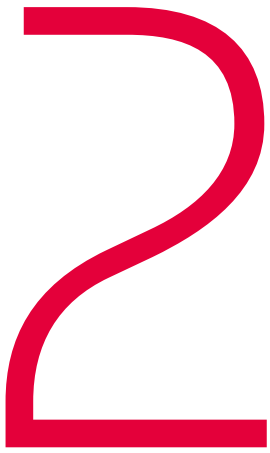
Bij de aanschaf van een meetinstrument heeft men een specifiek doel voor ogen, zoals het meten van een bepaald proces. Binnen dat proces zijn toegestane procestoleranties. Deze procestoleranties zijn leidend voor de nauwkeurigheid waarmee gemeten moet worden. De eisen aan de meetnauwkeurigheid bepalen dus welk instrument aangeschaft moet worden. Het is belangrijk om eerst naar de toleranties van het proces te kijken. De meting moet namelijk met een grotere nauwkeurigheid worden uitgevoerd dan de maximale toegestane afwijking van het proces.

Voorbeeld:

De procestoleranties zijn gesteld op $5 \pm 4^\circ\text{C}$. Omdat men niet op de grenzen van de procestolerantie wil bewaken, wordt er een koelkast gebruikt die als specificatie $5 \pm 3^\circ\text{C}$ heeft (bewakingsgrenzen).

Om dit proces met voldoende nauwkeurigheid te kunnen bewaken, moet een sensor worden gekozen die met een nauwkeurigheid van $\pm 1^\circ\text{C}$ kan meten. Dat is het verschil tussen de procestoleranties en de specificaties van de koelkast (bewakingsgrenzen).





Kalibratie

“Wanneer we gaan kalibreren, kijken we eigenlijk of de sensor doelgeschikt is.”

In het voorbeeld is een sensor nodig die minstens 1°C nauwkeurig is. Bij de selectie van zo'n sensor kiezen we in de praktijk altijd een sensor die beter is dan de minimale vereisten. In dit geval zou dat een sensor met fabrieksspecificatie $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ zijn. De nauwkeurigheid van de aangeschafte sensor borgen we met een kalibratie. Bij het uitvoeren van een kalibratie wordt de afwijking van de sensor ten opzichte van een referentiestandaard bepaald.

Te gebruiken referentiestandaard

Om een goede kalibratie uit te kunnen voeren, is het essentieel om te werken met een referentiestandaard die nauwkeurig genoeg is om de afwijking van de te testen sensor (Unit Under Test oftewel UUT) te kunnen bepalen. Over het algemeen wordt gestreefd naar een referentiestandaard die drie keer beter is dan de UUT. Dit noemen we een TUR 3 (Test Uncertainty Ratio).

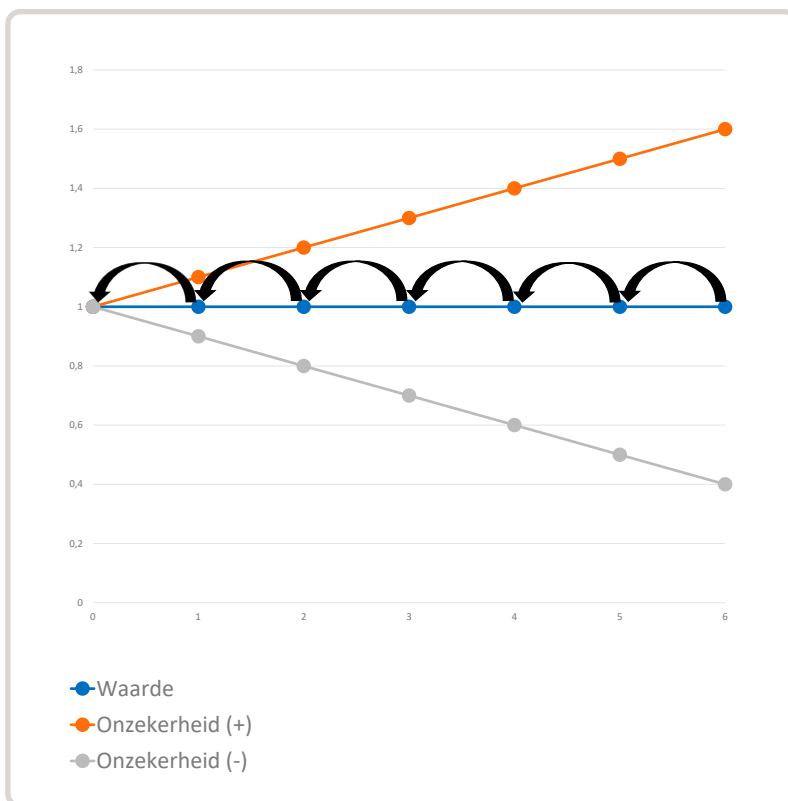
De meetonzekerheid van de referentiestandaard, in relatie tot de gewenste nauwkeurigheid van de UUT, bepaalt welke referentiestandaard we kiezen. Het zijn echter niet de fabrieksspecificaties van de UUT die de gewenste nauwkeurigheid bepalen, maar de gewenste kalibratienauwkeurigheid. In het voorbeeld hadden we deze bepaald op $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Natuurlijk is het mogelijk om uit te gaan van de fabrieksspecificaties, maar in veel gevallen maakt dit de kalibratie onnodig duur. In het voorbeeld zouden we dan een referentiestandaard met een meetonzekerheid van minder dan $0,1^{\circ}\text{C}$ gebruiken.

“Als het gaat om de referentiestandaard, spreken we van meetonzekerheid in plaats van meetnauwkeurigheid.”

Als het gaat om de referentiestandaard, spreken we van meetonzekerheid in plaats van meetnauwkeurigheid. We leggen graag uit waarom:

Wanneer we een referentiestandaard gebruiken, verwachten we dat deze herleidbaar is naar internationale standaarden. Zonder herleidbaarheid kunnen we niet oordelen over de correctheid van de meting. We weten dan niet wat de relatie tot de ‘werkelijke’ waarde is.

Figuur: Herleidbaarheid, een ononderbroken lijn van kalibraties tot de internationale standaard



Het herleidbare kalibratiecertificaat van de referentiestandaard bevat de volgende informatie:

1. Afwijking per meetpunt ten opzichte van de internationaal herleidbare standaard
2. De maximale meetonzekerheid van de uitgevoerde kalibratie

De afwijking per meetpunt geeft informatie over de maximale nauwkeurigheid van de referentiestandaard die we bij kalibraties inzetten. Afhankelijk van de grootte en de te behalen nauwkeurigheid worden afwijkingen van de referentiestandaard wel of niet in het resultaat meegenomen. Bij grootheden zoals temperatuur, relatieve vochtigheid en kracht is het gebruikelijk om de afwijkingen van de referentiestandaard mee te nemen in de uitvoering van kalibraties. Daarbij blijft alleen de meetonzekerheid van de referentiestandaard over om rekening mee te houden.

De herleidbaarheid – en daarmee de meetonzekerheid van de referentiestandaard kennen – is dus belangrijk. Omdat het zo cruciaal is, is die herleidbaarheid idealiter ook aantoonbaar.

“Aantoonbare herleidbaarheid wordt pas bereikt bij controle door een onafhankelijk orgaan. In Nederland is dat de Raad voor Accreditatie.”

Wat is aantoonbare herleidbaarheid?

Aantoonbare herleidbaarheid van de referentiestandaard is in feite een ononderbroken lijn van kalibraties tot aan de internationale standaard. Belangrijk daarbij is dat van elke uitgevoerde kalibratie in deze lijn de meetonzekerheid bekend is.

Voor het bepalen van de meetonzekerheid zijn internationale regels, beschreven in de EA-4/02 richtlijn (Expression of the uncertainty of measurement in calibration). Deze richtlijn geeft gedetailleerde instructies over de waarden die toegekend moeten worden aan de verschillende componenten die het totale onzekerheidsbudget bepalen. Elke kalibratie-instelling kan dit zelfstandig uitvoeren en de resultaten vermelden op het kalibratiecertificaat.

Naast de onzekerheid zijn procedures en gekwalificeerd personeel een belangrijk onderdeel voor de herleidbaarheid. Echter wordt **aantoonbare herleidbaarheid** pas bereikt bij controle door een onafhankelijk orgaan. In Nederland is dat de Raad voor Accreditatie (RvA).

Pas bij het voldoen aan de gestelde eisen is een kalibratie aantoonbaar herleidbaar. Bij een positieve beoordeling wordt de kalibratie-instelling geaccrediteerd en mag het logo van de accreditatieinstelling op de uitgegeven certificaten worden weergegeven. Dat gebeurt inclusief verwijzingen naar de ISO 17025 en de geaccrediteerde activiteit.

Het is dus absoluut noodzakelijk om bij kalibratie een referentiestandaard te gebruiken die aantoonbaar herleidbaar is. Dit moet af te lezen zijn op het certificaat.

De meetonzekerheid van de kalibratie van de UUT die we gaan uitvoeren

De meetonzekerheid van onze referentiestandaard is nu bekend. We hebben echter nog geen rekening gehouden met alle factoren die de uit te voeren kalibratie met zich meeneemt. Als er een afwijking ten opzichte van de referentiestandaard wordt gevonden, dan heeft deze afwijking ook een tolerantie. Deze wordt bepaald door de meetonzekerheid van de totale meetopstelling en alles wat daarbij komt kijken. Voor elke grootte zijn deze invloeden anders.

De meetonzekerheid van de kalibratie wordt onder andere bepaald door:

- 1. Meetonzekerheid van de gebruikte referentiestandaard**
- 2. Afleesnauwkeurigheid**
 - a. Van de sensor die wordt gekalibreerd
 - b. Van de referentiestandaard
- 3. Meetomstandigheden**
 - a. Temperatuur
 - b. Relatieve vochtigheid
 - c. Trillingen
 - d. Luchtdruk
 - e. Magnetische velden
- 4. Herhaalbaarheid**

Voor elk van deze punten moet worden bepaald welke invloed zij hebben op het eindresultaat. Op basis daarvan wordt een **onzekerheidsbudget** opgesteld.

Pas wanneer we de meetonzekerheid van de kalibratie kennen, kunnen we iets zeggen over de nauwkeurigheid van de sensor (Unit Under Test, UUT).

3 Justeren

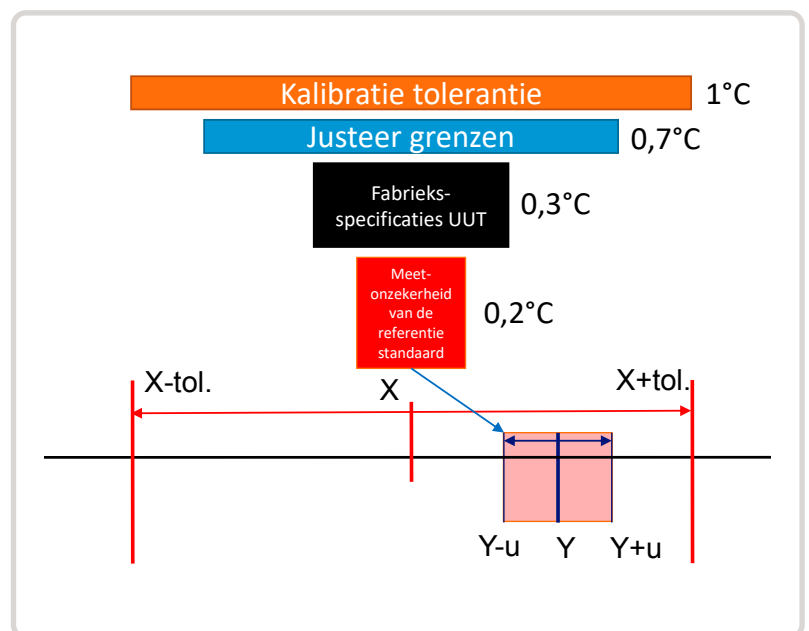
“Het bepalen van geschikte justeergrenzen is een belangrijk aspect om de juiste balans te vinden tussen het minimaliseren van afwijkingen en het voorkomen van onnodige correcties.”

Vrijwel elke kalibratie zal aantonen dat er een afwijking is. Het verminderen of zelfs elimineren van de gevonden afwijking noemen we justeren. Je kunt ervoor kiezen om te gaan justeren wanneer de kalibratiegrenzen worden overschreden. Idealiter wil je echter zoveel mogelijk voorkomen dat er überhaupt overschrijdingen optreden. Een situatie waarin dit wel gebeurt – ook wel een Out of Tolerance situatie (OOT) – is ongewenst. Het onderzoek naar de oorzaak van een OOT en de impact daarvan kan grote gevolgen hebben, zoals het terugroepen van producten of het afkeuren van geproduceerde batches.

Aan de andere kant wil je geen onnodige kosten maken door elke gevonden afwijking te justeren. Daarom is het belangrijk om justeergrenzen te bepalen. Veel gebruikte methoden daarvoor zijn:

1. Overschrijding van de fabriekspecificatie van de UUT
2. Wanneer de afwijking van de UUT groter is dan 70% van de kalibratiegrenzen

In het eerder gebruikte voorbeeld leggen we de justeergrenzen vast op 70% van de kalibratietolerantie van 1°C. Het figuur laat dit zien.



4

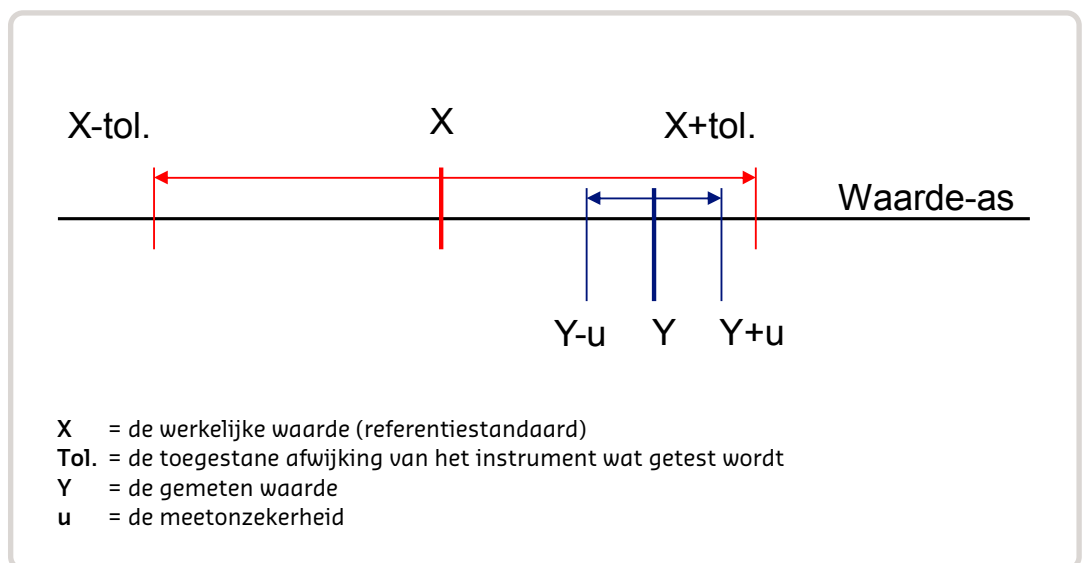
Toetsing

Wanneer we een kalibratie uitvoeren, weten we de afwijking ten opzichte van een standaard. Echter hebben we dan nog niet bepaald of het instrument geschikt is voor het doel. Doelgeschiktheid blijkt uit de toetsing.

Bij de toetsing kijken we of de gevonden afwijking groter of kleiner is dan de toegestane afwijking (de kalibratiegrenzen). Het vaststellen van de toetscriteria is een taak van de opdrachtgever en moet worden gebaseerd op de procesvereisten.

Zoals eerder benoemd, zijn de gemeten afwijkingen bij kalibratie geen absolute waarden. Bij elke meting hebben we te maken met een meetonzekerheid. Bij de toetsing wordt deze meetonzekerheid van essentieel belang. De gevonden waarden, plus of min de meetonzekerheid, bepalen de betrouwbaarheid van de meting.

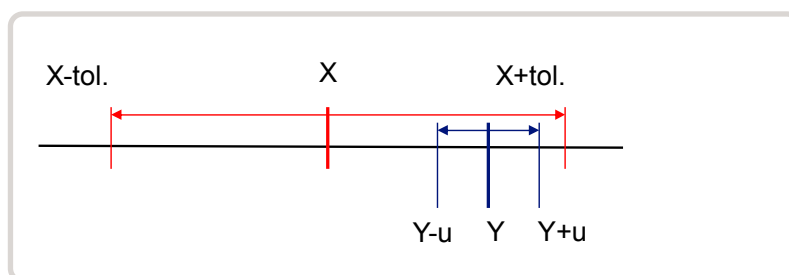
Een toelichting op de wijze van toetsing:



Onderstaand overzicht laat zien dat er verschillende situaties kunnen ontstaan wanneer er rekening gehouden wordt met een meetonzekerheid ten opzichte van de gemeten waarde.

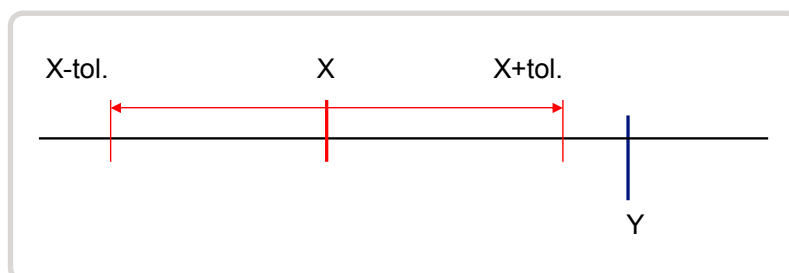
Situatie A: Akkoord

De gemeten waarde + of - meetonzekerheid valt volledig binnen de bandbreedte van de toegestane tolerantie van het meetinstrument.



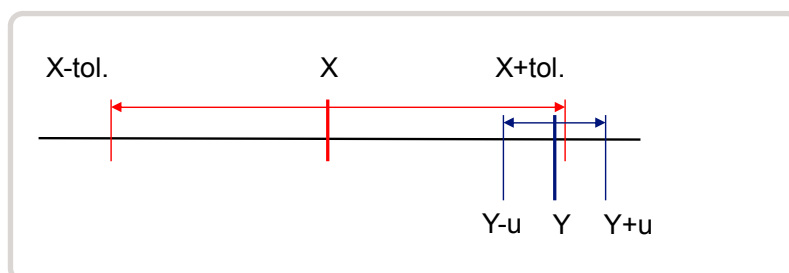
Situatie B: Niet akkoord

De gemeten waarde valt buiten de bandbreedte van de toegestane tolerantie van het meetinstrument.



Situatie C: Akkoord*

De gemeten waarde + of - meetonzekerheid valt grotendeels binnen de bandbreedte van de toegestane tolerantie van het meetinstrument. Er bestaat echter een kans dat de gemeten waarde buiten de toegestane tolerantie valt.



“Het kennen van de meetonzekerheid en dit meenemen in de toetsing is cruciaal.”

Is het mogelijk om te toetsen zonder rekening te houden met de meetonzekerheid? Zeker! In dat geval stel je op voorhand **eisen aan de meetonzekerheid** van de uit te voeren kalibratie én moet dit aantoonbaar herleidbaar worden aangetoond. Daarbij heeft de opdrachtgever rekening gehouden met een extra tolerantie, die verwerkt wordt in de kalibratiegrenzen.

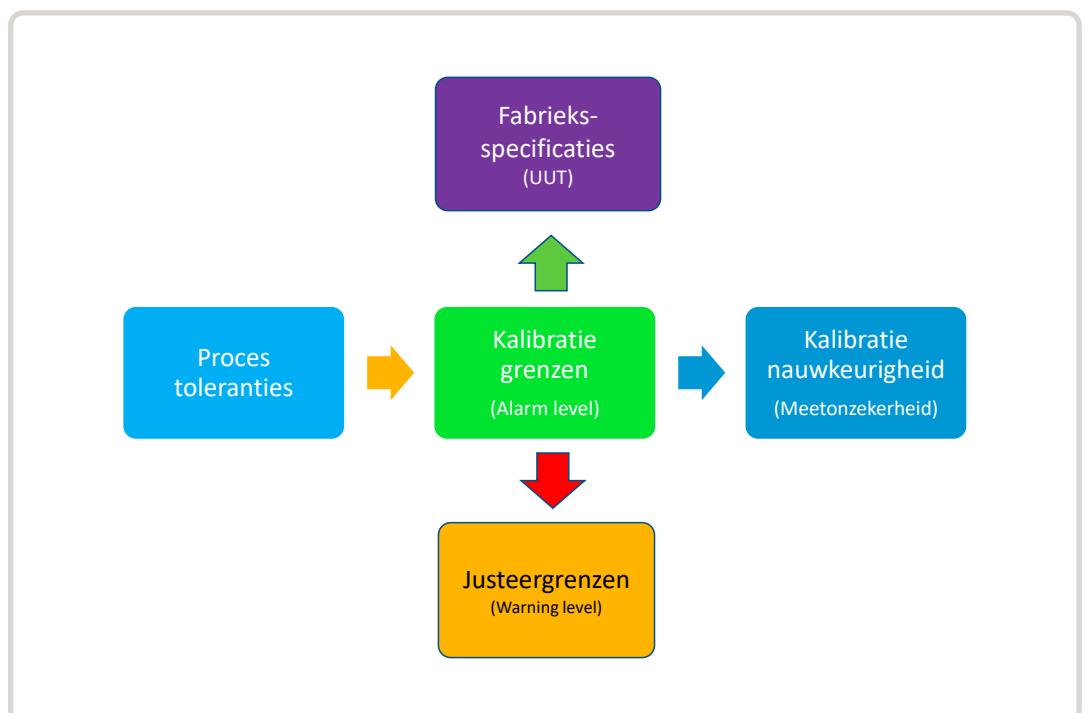
Zijn er geen eisen gesteld aan de meetonzekerheid? Of is de meetonzekerheid niet aantoonbaar herleidbaar? Dan valt er geen enkele waarde toe te kennen aan de gemeten waarden. Toetsing is dan niet zinvol.

5

Afstemmen van de specificatie

Bij het kalibreren moeten allerlei specificaties op elkaar afgestemd worden. Onderstaand overzicht laat de onderlinge relaties en afhankelijkheden van deze toleranties zien. We letten daarbij op het volgende:

1. Wat zijn de procestoleranties?
2. Afgeleid van de procestoleranties, wat zijn de bewakingsgrenzen (en dus de kalibratiegrenzen)?
3. De kalibratiegrenzen bepalen de nauwkeurigheid van de aan te schaffen sensor en zijn dus bepalend voor de fabrieksspecificaties
4. De kalibratiegrenzen zijn bepalend voor de meetonzekerheid van de uit te voeren kalibratie
5. Om te voorkomen dat kalibratiegrenzen worden overschreden worden er justiegrenzen opgesteld (die aangeven bij welke afwijking de sensor gejusteerd dient te worden).
6. Uitgangspunt is dat vanuit het proces dat wordt bewaakt een alarm wordt geactiveerd wanneer er wordt afgeweken van de procestolerantiegrenzen



Samenvattend

“Alleen door de juiste richtlijnen in acht te nemen, zijn de activiteiten waardevol voor de gebruiker.”

Om te bepalen of meetinstrumenten geschikt zijn voor het beoogde doel, is periodieke kalibratie noodzakelijk. De kalibratie maakt duidelijk wat de afwijking van het meetinstrument ten opzichte van een referentiestandaard is. Om de daadwerkelijke geschiktheid te beoordelen, moeten we toetsen. De manier van toetsing is erg belangrijk:

- **Toetsing zonder meetonzekerheid** stelt vooraf eisen aan de meetonzekerheid van de kalibratie. We moeten dan vooraf ook rekening houden met de gevolgen voor de kalibratiegrenzen;
- **Toetsing met meetonzekerheid** zorgt ervoor dat we kunnen bepalen met welke zekerheid de gemeten waarde binnen de toegestane tolerantie valt – en dus of het meetinstrument geschikt is.

Toetsing zonder kennis van de meetonzekerheid heeft geen enkele toegevoegde waarde

Voordat we kunnen toetsen, moeten alle grenzen duidelijk worden gemaakt en op elkaar worden afgestemd. Bij dit proces moeten verschillende disciplines en expertisegebieden worden betrokken.

Het is bovendien essentieel dat de toegepaste referentiestandaarden en de uitgevoerde kalibraties aantoonbaar herleidbaar zijn.

De kalibratie activiteiten worden pas echt waardevol wanneer er een toetsing heeft plaatsgevonden tegen een internationaal erkende norm (ISO 17025) door een onafhankelijke organisatie.

Kalibra helpt graag

Heeft u vragen of bent u op zoek naar gedegen advies?



Neem dan contact op met
Peter-Arie Griffioen

Tel: +31 6 542 24 256

E-mail: peter-arie.griffioen@kalibra.nl

KALIBRA

Delftechpark 19, 2628 XJ Delft
Kalibra.nl
Onderdeel van Equans