

DIN 25475-3

ICS 27.120.20

**Kerntechnische Anlagen –
Betriebsüberwachung –
Teil 3: Betriebsbegleitende Ermittlung von thermischen Belastungen**

Nuclear facilities –
Operational monitoring –
Part 3: Determination of thermal loadings

Installations nucléaires –
Surveillance en exploitation –
Partie 3: Détermination des caractéristiques thermiques

Gesamtumfang 34 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Grundlagen	7
4.1 Hintergrund	7
4.2 Methodik bei der Ermittlung von thermischen Belastungen	7
4.3 Auswahlkriterien für die Überwachung von Komponenten	7
5 Anforderungen an die Messung und die Messwertverarbeitung	8
5.1 Prinzipieller Aufbau	8
5.2 Messwerterfassung	9
5.2.1 Allgemeines	9
5.2.2 Festlegung der Messebenen und Anordnung der Sensoren innerhalb der Messebenen- instrumentierung	9
5.2.3 Anforderungen an die Messebeneninstrumentierung	12
5.2.4 Anforderungen an die Montage der Temperatursensoren	13
5.2.5 Verkabelung	13
5.2.6 Anforderungen an die Erfassungseinrichtungen	14
5.2.7 Einbindung der globalen Messdaten	14
5.2.8 Messwertaufzeichnung	15
5.2.9 Überwachung der Messwerterfassung auf Funktionsstörungen	16
5.2.10 Bestimmung der Messunsicherheit der Messkette	16
5.3 Darstellung der Daten zur visuellen Kontrolle	17
5.4 Messwertaufbereitung	17
5.4.1 Plausibilisierung der Messwertaufzeichnungen	17
5.4.2 Ermittlung der Ersatzdaten	17
5.4.3 Visuelle Kontrolle und manuelle Korrektur	18
5.4.4 Archivierung der Rohdaten und der aufbereiteten Daten	18
5.5 Inbetriebsetzung	18
5.6 Wiederkehrende Prüfungen	19
6 Auswertung der aufbereiteten Daten	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Auswertung von Temperaturzyklen	20
6.3 Auswertung von Belastungsvorgängen	20
7 Bewertung	21
7.1 Allgemeines	21
7.2 Verfahren der überschlägigen Ermüdungsbewertung	21
7.3 Verfahren der detaillierten Ermüdungsanalyse	22
8 Dokumentation	22
8.1 Unterlagen zur Installation des Messwerterfassungssystems	22
8.2 Unterlagen zu wiederkehrenden Prüfungen des Messwerterfassungssystems	23
8.3 Unterlagen zur Dokumentation thermischer Belastungen	23
Anhang A (informativ) Druckwasserreaktoren/Siedewasserreaktoren	24
Anhang B (informativ) Beispiele für Instrumentierungen	27
Anhang C (informativ) Beispiele für Messwertdarstellungen	28

Anhang D (informativ) Verfahren der überschlägigen Ermüdungsbewertung	30
D.1 Allgemeines	30
D.2 Formelzeichen und Benennungen.....	30
D.3 Spannungen infolge Kolbenströmung	31
D.4 Spannungen infolge Temperaturschichtung.....	32
D.5 Ermittlung der halben Vergleichsspannungsschwingbreite S_a	32
D.6 Ermittlung des überschlägigen Erschöpfungsgrades D_{ges}.....	33
Literaturhinweise	34

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 062-07-48 AA „Betriebsüberwachung — Kerntechnik“ des DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Es werden Anforderungen an die betriebsbegleitende Ermittlung von thermischen Belastungen, an die Auswahl der Messstellen und Messebenen, an das Messsystem, die Auswertung der Messergebnisse sowie an die Dokumentation festgelegt zu dem Zweck der Ermittlung des Erschöpfungsgrades der Bauteilermüdung.

In Anlehnung an KTA 3201.4 ist der Titel des Dokuments „Betriebsüberwachung“.

DIN 25475, *Kerntechnische Anlagen — Betriebsüberwachung* besteht aus:

- *Teil 1: Körperschallüberwachung zum Erkennen loser Teile*
- *Teil 2: Schwingungsüberwachung zur frühzeitigen Erkennung von Änderungen im Schwingungsverhalten des Primärkreises von Druckwasserreaktoren*
- *Teil 3: Betriebsbegleitende Ermittlung von thermischen Belastungen*

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gilt für die betriebsbegleitende Ermittlung von für die Ermüdungsanalysen nach KTA 3201.2 erforderlichen thermischen Belastungen aus Temperaturmessungen an Komponenten der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels von Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR).

Dieses Dokument kann auch auf druck- und aktivitätsführende Komponenten der Prüfgruppe A1 von Systemen außerhalb des Primärkreises nach KTA 3211.2 angewendet werden.

Bei dem hierzu verwendeten Messsystem handelt es sich um eine betriebliche Einrichtung, die nicht nach KTA 3501 ausgelegt werden muss.

Die über die Ermittlung der thermischen Belastungen hinausgehenden Aspekte der Ermüdungsbewertung werden in KTA 3201.2 bzw. KTA 3211.2 geregelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 10204, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

DIN V ENV 13005 (zurückgezogen), *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

DIN EN 60751, *Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren*

DIN EN 60584-1, *Thermopaare — Teil 1: Thermospannungen und Grenزابweichungen*

DIN EN 60584-3, *Thermopaare — Teil 3: Thermoleitungen und Ausgleichsleitungen — Grenزابweichungen und Kennzeichnungssystem*

DIN EN 61515, *Mantelthermoelement-Leitungen und Mantelthermoelemente*

KTA 1403, *Alterungsmanagement in Kernkraftwerken*

KTA 3201.2, *Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren — Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung*

KTA 3201.4, *Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren — Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung*

KTA 3211.2, *Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises — Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung*

KTA 3501, *Reaktorschutzsystem und Überwachungseinrichtungen des Sicherheitssystems*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Ermittlung

Bereitstellung einer Größe durch messtechnische Erfassung oder rechnerische Auswertung

3.2

Überwachung

Ermittlung von Größen einschließlich eines Vergleichs mit vorgegebenen Werten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Überwachung erfolgt durch die kontinuierliche Messung und die diskontinuierliche Auswertung von Messwerten, z. B. durch deren rechnerische Verknüpfung in Verbindung mit dem Vergleich mit vorgegebenen Werten der physikalischen Größen (z. B. Grenzwerten).

3.3

Messen

Feststellen von Istwerten durch quantitativen Vergleich der Messgröße mit einer Einheit mit Hilfe von Messmitteln

[QUELLE: DIN 27200:2011-11, 3.4.74 modifiziert – ergänzt durch „durch quantitativen Vergleich der Messgröße mit einer Einheit“]

3.4

Messebene

orthogonal zur Komponentenlängsachse orientierte Ebene, auf deren Schnittlinie mit der Komponentenoberfläche Sensoren angebracht werden

3.5

Messebeneninstrumentierung

Menge der in einer Messebene angebrachten Sensoren und zugehörigen Installationseinrichtungen

3.6

Komponente

<Ermüdungsüberwachung> Einzelelement eines technischen Systems

Anmerkung 1 zum Begriff: Einzelelemente sind z. B. Rohrleitungen, Behälter, Armaturen, Pumpen.

3.7

Standardinstrumentierung

Instrumentierung zur Überwachung der Zustandsgrößen und Daten, die für die Integrität der zum Anwendungsbereich gehörenden Komponenten von Bedeutung sind, und die Messeinrichtungen zur Erfassung globaler Belastungen und – falls erforderlich – Messeinrichtungen zur Erfassung lokaler Belastungen umfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Standardinstrumentierung umfasst im Bereich der Ermüdungsüberwachung Teile der Betriebsinstrumentierung (globale Messdaten) und eigens für die Ermittlung lokaler thermischer Belastungen erforderliche Messeinrichtungen (lokale Messdaten).

[QUELLE: KTA 3201.4:2010-11, 2(20) modifiziert – Formulierung unter Berücksichtigung der Regeln nach DIN 820-2 angepasst und Anmerkung 1 zum Begriff ergänzt]

3.8

Betriebsinstrumentierung

Instrumentierung, die zur Überwachung des Anlagenbetriebs erforderlich ist (Drücke, Durchsätze, Temperaturen, Füllstände, Armaturenstellungen, Leistungen, Drehzahlen,...) und deren Signale rückwirkungsfrei dem Messwerterfassungssystem zur Ermittlung thermischer Belastungen zur Verfügung gestellt werden

3.9

Rohdaten

Aufzeichnung der abgetasteten und quantisierten Information, die bei der Umwandlung eines analogen Signals in die digitale Form durch einen Digitalrecorder entsteht

[QUELLE: DIN EN 61083-1 (VDE 0432-7):2002-01, 1.3.3.4 modifiziert – Definition gekürzt]

3.10**Ausfallzeit**

Zeitbereich mit fehlenden oder nicht verwertbaren Messwerten einzelner Messketten oder des gesamten Messwerterfassungssystems

3.10.1**Ausfallzeit Messkette**

Ausfallzeit Sensor

Zeitbereich mit fehlenden oder nicht verwertbaren Messwerten einzelner Messketten, z. B. infolge Fühlerbruch, Ausfall einzelner Erfassungseinheiten

3.10.2**Ausfallzeit des Messwerterfassungssystems**

Zeitbereich, in denen das Messwerterfassungssystem, z. B. infolge einer Unterbrechung der Stromversorgung, nicht zur Verfügung steht

4 Grundlagen**4.1 Hintergrund**

Im Anlagenbetrieb treten Temperaturänderungen in den Komponenten auf, welche diese thermisch belasten. Aus den thermischen Belastungen resultieren im Fall behinderter Wärmedehnungen thermomechanische Spannungen. Abhängig von der Höhe der Spannungsamplituden und der Häufigkeit der induzierten Spannungsänderungen kann Materialermüdung verursacht werden. Diese kann als (Teil-)Erschöpfungsgrad angegeben werden (siehe KTA 3201.2).

Der Fortschritt der Materialermüdung im Betrieb wird im Rahmen der Ermüdungsüberwachung bewertet.

Die Ziele der Ermüdungsüberwachung sind:

- Sicherstellung der Komponentenintegrität durch Kenntnis der für den Schädigungsmechanismus „Ermüdung“ relevanten thermischen Belastungen sowie des aus diesen Belastungen resultierenden Erschöpfungsgrads;
- Optimierung der Fahrweisen (Identifizierung ungünstiger Fahrweisen/Ereignisse);
- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit;
- konstruktive Optimierung von Komponenten und Systemabschnitten (Reduzierung von thermischen Belastungen).

4.2 Methodik bei der Ermittlung von thermischen Belastungen

- betriebsbegleitende Erfassung von Temperaturen an Komponenten mit anforderungsgerechter Erfassungsrate;
- Nutzung der Betriebsinstrumentierung für die Ermittlung der globalen thermischen Belastungen und für die Korrelation der lokal gemessenen Temperaturen mit dem Betriebszustand der Anlage;
- Aufbereitung der gemessenen Temperaturdaten für die Durchführung von Ermüdungsanalysen nach KTA 3201.2.

4.3 Auswahlkriterien für die Überwachung von Komponenten

Für die Auswahl der zu überwachenden Komponenten gelten die KTA-Regelreihe 3201, insbesondere KTA 3201.4 und KTA 1403. Quellen für Hinweise auf hierfür relevante thermohydraulische Phänomene (zeitliche Temperaturänderungen und räumliche Temperaturverteilungen sowie Kombinationen) sind in 5.2.2 beschrieben.

5 Anforderungen an die Messung und die Messwertverarbeitung

5.1 Prinzipieller Aufbau

Bild 1 zeigt die Funktionen der betriebsbegleitenden Ermittlung von thermischen Belastungen vom Sensor über die Erfassung, Speicherung bis zur Datenarchivierung und Auswertung.

Die Messwerterfassung zur Ermittlung von thermischen Belastungen erfolgt mittels Betriebsinstrumentierung und eigens hierfür vorgesehener Messeinrichtungen (Standardinstrumentierung, siehe Anmerkung 1 zum Begriff 3.7). Von den mit der Betriebsinstrumentierung erfassten Messdaten (globale Messdaten) werden insbesondere Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Leistungen, Armaturenstellungen und Füllstände verwendet. Mit den eigens für die Ermittlung lokaler thermischer Belastungen installierten Messeinrichtungen werden mittels Temperatursensoren Außenwandtemperaturen an Komponenten erfasst.

Als Temperatursensoren dieser Messeinrichtungen können sowohl Thermoelemente als auch andere geeignete Temperaturmesselemente eingesetzt werden (siehe 5.2.3.2). Je nach spezifizierten/erwarteten thermohydraulischen Belastungsphänomenen werden die Außenwandtemperaturen mit einem oder mehreren Sensoren in einer sogenannten Messebene erfasst (siehe 5.2.2).

Über Signalleitungen werden die analogen Temperatursignale zu einer Erfassungseinheit (systemeigener Messschrank oder Prozessrechner-Schrank) geführt. Hier erfolgt die Digitalisierung, der Einsatz von Algorithmen zur Datenreduktion, die Signalüberwachung und die Speicherung dieser Rohdaten. Die Erfassungseinheit selbst kann sowohl innerhalb als auch außerhalb der Reaktorhülle (Containment) aufgestellt sein. Mehrere dezentrale Erfassungseinheiten können vernetzt sein. Die Messdaten der Betriebsinstrumentierung, die für die spätere Aufbereitungs- und Auswertungsphase notwendig sind, werden eingebunden. Alle aufgenommenen Daten (Rohdaten und eingebundene Messdaten aus der Betriebsinstrumentierung) werden auf geeigneten Langzeitspeichern archiviert. Im Allgemeinen ist in jedem Schritt der Datenverarbeitung eine Visualisierung der Daten möglich.

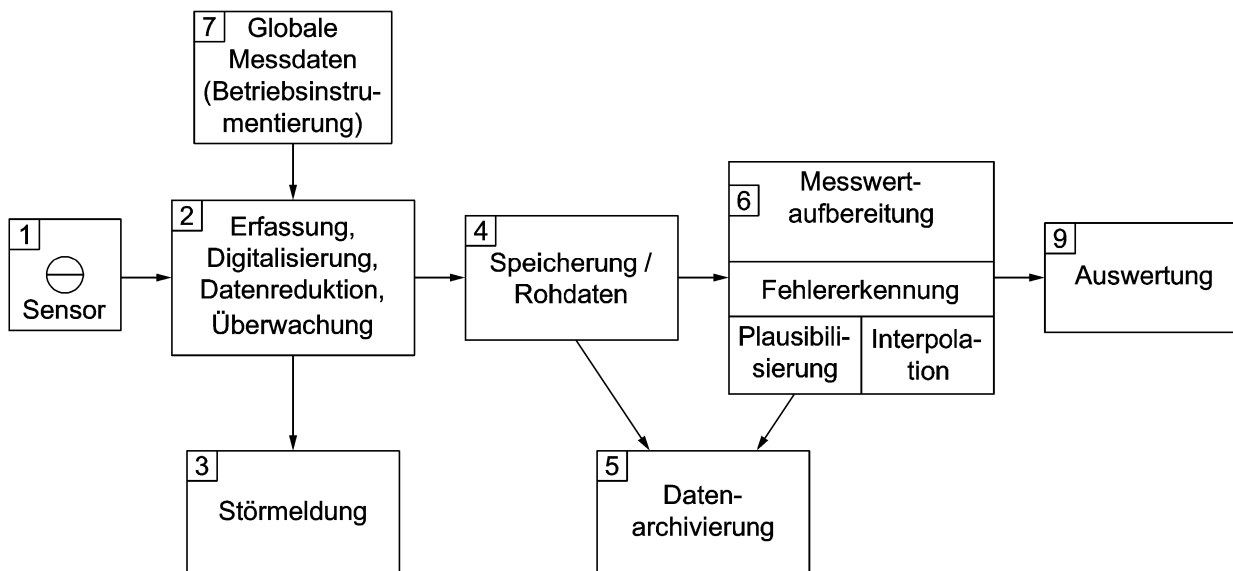


Bild 1 — Funktionsablauf der betriebsbegleitenden Ermittlung von thermischen Belastungen

5.2 Messwerterfassung

5.2.1 Allgemeines

Für die Auswahl der Messstellen sind die Bereiche der relevanten Komponenten zu identifizieren, an denen thermische Belastungen infolge

- zeitlicher Temperaturänderung und/oder
 - örtlicher Temperaturverteilung
- auftreten können.

Zeitliche Temperaturänderungen können sowohl als globale quasistatische Vorgänge (z. B. die An- und Abfahrvorgänge der Kraftwerksanlage) als auch als vergleichsweise schnell und lokal begrenzte Vorgänge (z. B. Sprühvorgänge) auftreten. Zeitliche Temperaturänderungen aus globalen und lokalen Ereignissen müssen überwacht werden.

Örtliche Temperaturverteilungen können sowohl über den Querschnitt (z. B. Rohrquerschnitt bei Temperatschichtung) als auch über weiter gefasste System- bzw. Komponentenbereiche (z. B. über die Rohrlänge in axialer Richtung auftretende Temperaturunterschiede) auftreten. Örtliche Temperaturverteilungen sind nur mit einer lokalen Instrumentierung erfassbar; sie sind mit einer ausreichenden Anzahl von Messfühlern aufzunehmen, damit eine zuverlässige Bewertung möglich ist.

5.2.2 Festlegung der Messebenen und Anordnung der Sensoren innerhalb der Messebenen-instrumentierung

Für die Festlegung der Messebenen sind die Bereiche als relevant zu betrachten, an denen schnelle zeitliche Temperaturänderungen (z. B. Temperaturschock), örtliche Temperaturverteilungen (z. B. Temperatschichtungen) oder Kombinationen von beiden auftreten können. Relevante Bereiche sind z. B.:

- a) Bereiche, an denen Medien unterschiedlicher Temperatur gemischt werden;
- b) Temperatur-Trennstellen (Medium heiß-kalt; z. B. Erstabsperrungen);
- c) Systembereiche, die während des Betriebes nicht durchgehend mit Medium gefüllt sind;
- d) Systembereiche, die nur zeitweise in Betrieb genommen werden.

Die hierfür in Frage kommenden Bereiche können aus

- Schaltplänen und Isometrien;
- Fahrweisen inkl. Prüfergebnissen;
- Betriebserfahrungen;

ANMERKUNG Betriebserfahrungen sind z. B. Erkenntnisse zu Unregelmäßigkeiten von Absperrorganen, Hinweise auf nicht ausreichend spezifizierte Belastungen.

- Belastungsspezifikationen;
- Ermüdungsanalysen;
- Erkenntnissen aus anderen Anlagen, GRS-Weiterleitungsnachrichten¹⁾ RSK-Veröffentlichungen, IAEA-Veröffentlichungen;
- Veröffentlichungen in Fachliteratur (Beispiele siehe Literaturhinweise)

ermittelt werden.

1) GRS: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH; RSK: Reaktor-Sicherheitskommission; IAEA: International Atomic Energy Agency

Messebenen sollten bevorzugt in Bereiche gelegt werden, in denen keine relevante axiale Wärmeleitung vorliegt. Andernfalls ist die axiale Wärmeleitung bei der Auswertung zu berücksichtigen.

Die Messebenen sind so zu positionieren, dass die zu messenden relevanten Belastungen erfasst werden. Dabei müssen auch folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Durchführbarkeit von Prüfmaßnahmen an der zu instrumentierenden Komponente;
- Strahlenbelastung;
- Wanddicke an Messstellen.

Bei Systemen und Komponenten mit örtlichen Temperaturverteilungen sind zur ausreichenden Instrumentierung mindestens zwei Temperatursensoren in einer Messebene erforderlich, um das örtliche Temperaturminimum und -maximum zu erfassen. Bei Temperaturschichtungen sind bevorzugt horizontal verlaufende Rohrleitungsabschnitte zu instrumentieren. Zur ausreichenden Instrumentierung sind in diesem Fall mindestens Temperatursensoren in 12 Uhr- und 6 Uhr-Position der Messebene erforderlich. Die Verwendung von mehr als zwei Temperatursensoren erlaubt im Fall örtlicher Temperaturverteilungen eine höhere räumliche Auflösung der Verteilung im Bauteil.

Bei Systemen und Komponenten mit schneller zeitlicher Temperaturänderung (Temperaturschockbeanspruchung) und auszuschließenden örtlichen Temperaturverteilungen ist für eine ausreichende Instrumentierung mindestens ein Temperatursensor der Messebene erforderlich. Die Verwendung von zwei Temperatursensoren auch im Fall erwarteter reiner Temperaturschockbeanspruchung erlaubt es, eine gleichzeitige örtliche Temperaturverteilung (z. B. Temperaturschichtung) auszuschließen.

Die festgelegte Position der Messebene sowie die Anzahl der Temperatursensor und deren Position in der Messebene einschließlich der Anlagenkennzeichnung sind in einem Messstellenplan für die Montage festzulegen (siehe Bild 2).

Der Anhang A gibt Beispiele für die Festlegung von Messebenen an Systemen und Komponenten (Beispiele SWR und DWR).

Ein Beispiel für die Instrumentierung zur Erfassung von Temperaturschichtungen ist in Anhang B dargestellt.

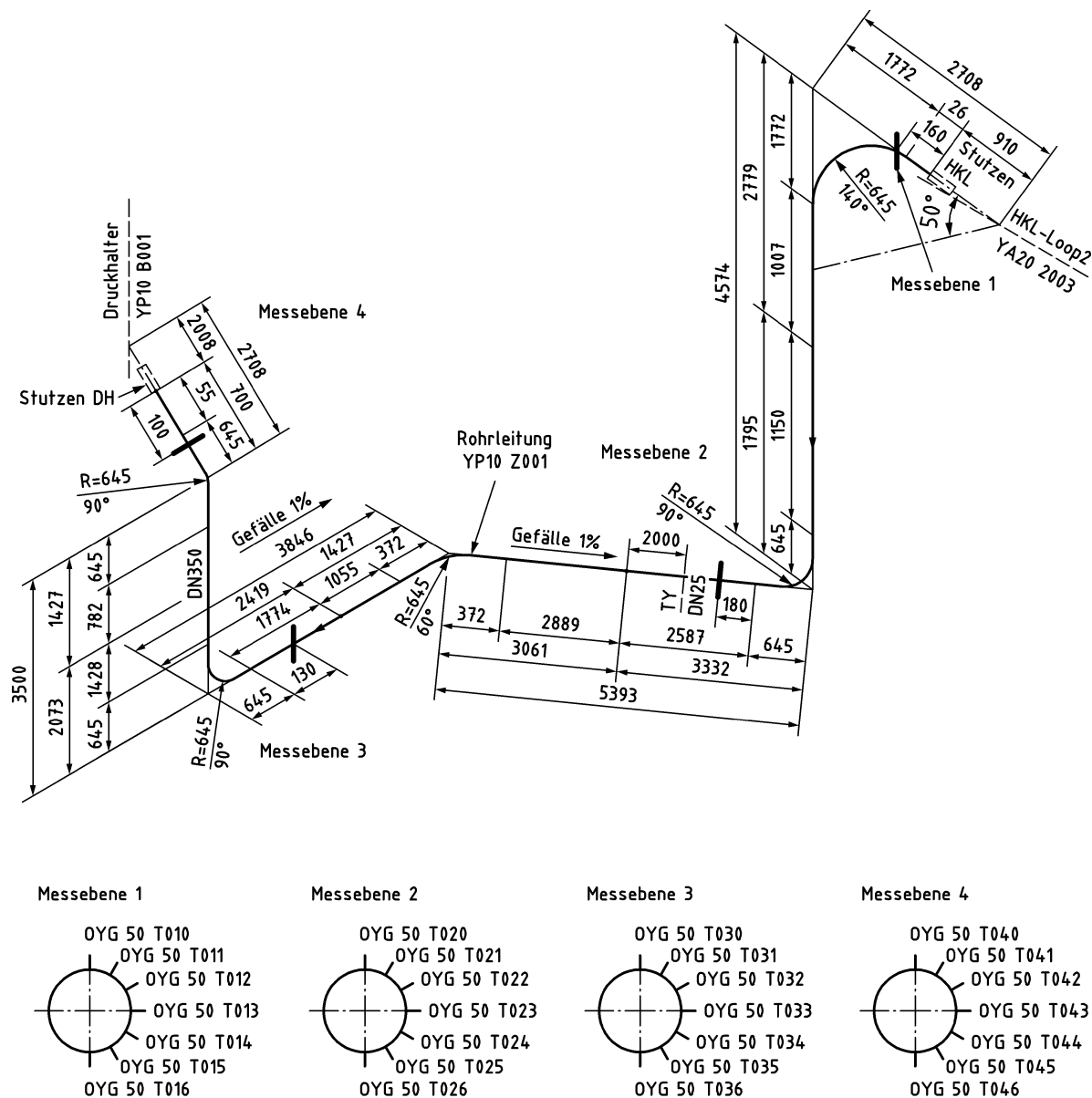


Bild 2 — Beispiel für einen Messstellenplan