

Wärmetechnische Abnahmeversuche an Dampfturbinen

(VDI-Dampfturbinenregeln)

DIN
1943

Thermal acceptance tests of steam turbines
(VDI rules of steam turbines)

Diese Norm wurde vom Ausschuß Dampfturbinenregeln der VDI-Gesellschaft Energietechnik bearbeitet.

Inhalt	Seite
1. Allgemeine Bestimmungen	2
1.1. Geltungsbereich	2
1.2. Aufgabe	2
1.3. Zweck der Abnahmeversuche	2
2. Formelzeichen und Einheiten	2
2.1. Lateinische Buchstaben	2
2.2. Griechische Buchstaben	3
2.3. Indizes	3
3. Vertragliche Vereinbarungen	3
3.1. Ort und Zeit der Abnahmeversuche	3
3.2. Leitung der Abnahmeversuche	3
3.3. Weitere Vereinbarungen	4
3.4. Wiederholung von Abnahmeversuchen	4
3.5. Kosten der Abnahmeversuche	4
3.6. Wasserdampf tafel	4
4. Vorbereitung und Durchführung der Abnahmeversuche	4
4.1. Anordnung der Meßstellen	4
4.2. Zustand der Anlage	4
4.3. Vorversuche	5
4.4. Abnahmeversuche	5
5. Meßverfahren und Meßgeräte	7
5.1. Allgemeines	7
5.2. Bestimmung der Leistung	9
5.3. Messen der Zustandsgrößen	10
5.4. Messen von Massenströmen	11
5.5. Messen von Füllständen	11
5.6. Messen der Drehzahl	12
6. Auswertung	12
6.1. Allgemeines	12
6.2. Berechnung der Ergebnisse	12
6.3. Das Meßspiel	15
6.4. Berechnung von Meßspielen	16
7. Vergleich mit zugesicherten Werten	20
7.1. Vergleich bei zugesichertem Dampfverbrauch	20
7.2. Vergleich bei zugesichertem spezifischem Wärmeverbrauch	20
7.3. Berücksichtigung der Regelungsart und Betriebsweise	20
7.4. Berücksichtigung der Alterung	21
8. Umrechnung der Versuchsergebnisse auf Zusicherungsbedingungen	21
8.1. Zweck der Umrechnung	21
8.2. Umrechnung des Dampf- und Wärmeverbrauchs	22
8.3. Umrechnung des Dampfdurchsatzes	31
8.4. Umrechnung der Höchstleistung	31
Schrifttum	31
Erläuterungen	32

Fachnormenausschuß Maschinenbau im Deutschen Normenausschuß (DNA)

1. Allgemeine Bestimmungen

1.1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für wärmetechnische Abnahmeversuche an Dampfturbinen jeder Bauart, Größe und Verwendung. Die Benennungen von Dampfturbinen sind in DIN 4304 [4] festgelegt.

1.2. Aufgabe

Mit dieser Norm werden einheitliche Regeln für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Abnahmeversuche festgelegt. Sie enthält ferner Angaben über die Bedingungen, unter denen die Abnahmeversuche stattfinden sollen.

Die Norm ermöglicht eindeutige und klare Vereinbarungen zwischen Besteller und Lieferer und soll deshalb von den Vertragspartnern als verbindlich anerkannt werden. Abweichungen und Ergänzungen sind besonders zu vereinbaren.

1.3. Zweck der Abnahmeversuche

Zweck der Abnahmeversuche ist der Nachweis der vom Lieferer zugesicherten wärmetechnischen Eigenschaften. Die Zusicherungen und ihre Voraussetzungen müssen vollständig und widerspruchsfrei abgefaßt sein. Die Abnahmeversuche können auch solche Messungen umfassen, die zur Sicherung der Meßwerte für eine Bilanz der Gesamtanlage (einschließlich der Vorwärmanlage, jedoch ausschließlich des Dampferzeugers und zur Sicherung des Ergebnisses und einer sachgemäßen Umrechnung auf Zusicherungsverhältnisse notwendig sind (s.a. Vergleichsmessungen, Abschn. 4.2.2.1).

2. Formelzeichen und Einheiten

2.1. Lateinische Buchstaben

Formelzeichen	Benennung	SI-Einheit sowie weitere zugelassene Einheiten
a	Schallgeschwindigkeit	m/s
b	Größe des Streubereichs für sämtliche nicht erfaßbaren Umrechnungseinflüsse	—
b^*	Zuschlag für die Leistungsumrechnung bei Gegendruckturbinen	—
b^{**}	Zuschlag für die Leistungsumrechnung bei Entnahmegegendruckturbinen	—
b_1	Stoffwerte	—
c	absolute Geschwindigkeit	m/s
c_2	absolute Austrittsgeschwindigkeit	m/s
c_n	Beiwerte	—

D_m	Durchmesser des letzten Laufschaufelkranzes im Mittelschnitt	m, mm
d	spezifischer Dampfverbrauch	kg/W s kg/kWs kg/kWh
f_x	Nässeverlustfaktor (dimensionslos, auch <i>Baumann-Faktor</i> genannt)	—
G	bekannte Fehlergrenze (Genauigkeitsklasse)	—
h	spezifische Enthalpie	J/kg, kJ/kg
$\Delta h_{v,a}$	durch Änderung der Kühlwasser-Eintrittstemperatur veränderter Endverlust bei Umrechnungsbedingungen für Beurteilung von Umrechnungskurven	kJ/kg
$\Delta h_{s,a}$	durch Einzeleinfluß veränderter isentroper Enthalpiegefälle bei Umrechnungsbedingungen für Beurteilung von Umrechnungskurven	kJ/kg
I	Inhalt	—
k	Umrechnungswert	—
$k_{b\max}$	obere Streubereichsgrenze für einen Einzeleinfluß	—
$k_{b\min}$	untere Streubereichsgrenze für einen Einzeleinfluß	—
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s, t/h
n	Drehzahl	s ⁻¹ min ⁻¹
P	Leistung	W, kW, MW
P_a	durch Einzeleinfluß veränderte Leistung unter Berücksichtigung der isentropen Gefälleänderung und des erfaßbaren Wirkungsgrad-einflusses für Beurteilung von Umrechnungskurven	W, kW, MW
p	Druck (absolut)	N/m ² , bar
$\dot{Q}$	Wärmestrom	J/s = W kW, MW
s	spezifische Entropie	J/kg K kJ/kg K
T	Temperatur (Kelvin)	K
t	Temperatur (Celsius)	°C
t_s	Sättigungstemperatur für den Druck am Kondensatoreintritt (nach Sattdampfkurve)	°C
t_{w1}	Kühlwasser-Eintrittstemperatur	°C

t_{W2}	Kühlwasser-Austritts-temperatur	°C	B	Massenstrom-Bilanzkorrektur
$\Delta t =$	Kondensatorgrädigkeit	K	D	Dichtungsstrom
$t_S - t_{W2}$			E	Entnahme
t_{Sp}	Speisewassertemperatur	°C	EW	Einspritzwasser
t_K	Kondensattemperatur am Kondensatoraustritt	°C	FD	Frischdampf
u	Umfangsgeschwindigkeit	m/s	G	Gegendruck
V	Meßspiel	—	ges	Gesamt
V_x	Vertrauensgrenze des Fehlers einer Einzelmessung	—	HD	Hochdruck
ν	spezifisches Volumen	m ³ /kg	i	innere (r)
w	spezifischer Wärmeverbrauch	J/W s kW h/kW h	j, l, n, m	laufende Numerierung einer Reihe von Größen
w_2	relative Austrittsgeschwindigkeit	m/s	Kl	Klemmen des Generators
w_a	durch Einzeleinfluß veränderter spezifischer Wärmeverbrauch unter Berücksichtigung der isentropen Gefälleänderung und des erfaßbaren Wirkungsgradeinflusses für Beurteilung von Umrechnungskurven	J/W s kW h/kW h	K	Kondensator, Kondensat
x	spezifischer Dampfgehalt	kg/kg	kor	korrigiert
x_j	Meßgröße	—	kZÜ	am Austrittsflansch der Dampfturbine vor dem Zwischenüberhitzer
z	Zeit	s, h	M	gemessener Wert
			MD	Mitteldruck
			S	Sättigungs-
			s	bei isentropem Gefälle
			Sp	Speisewasser
			T	Dampfturbine
			U	umgerechneter Wert
			u	Umfangskomponente
			V	Verlust
			VB	vor Beschaufelung
			W	Kühlwasser
			w	spezifischer Wärmeverbrauch
			x	mit Nässeeinfluß
			Z	zugesicherter Wert, Bezugswert bei Zusicherung
			ZÜ	am Eintrittsflansch der Dampfturbine hinter dem Zwischenüberhitzer
			1, 2, 3, . . .	an bestimmter Stelle bzw. Leitungsabschnitt
			γ	gewogener Mittelwert

2.2. Griechische Buchstaben

Formelzeichen	Benennung
β_2	relativer Austrittswinkel
Δ, δ	Differenz
η	Wirkungsgrad
ξ	Verhältnis des Leistungsvermögens des Kondensationsdampfstromes zu dem der gesamten Dampfturbine
σ_z	Standardabweichung der Grundgesamtheit
τ	relatives Meßspiel

2.3. Indizes¹⁾

Index	Bedeutung
A	Anzapfung
a	Berücksichtigung der isentropen Gefälleänderung und des erfaßbaren Wirkungsgradeinflusses für Beurteilung von Umrechnungskurven
ae	äußere (r)
Abd	Abdampf
ax	Axialkomponente

¹⁾ Weitere Indizes, die sich mit Formelzeichen decken, haben dieselbe Bedeutung wie das Formelzeichen.

3. Vertragliche Vereinbarungen

3.1. Ort und Zeit der Abnahmeversuche

Die Abnahmeversuche am Aufstellort sollen innerhalb von sechs Monaten im Anschluß an den Probetrieb durchgeführt werden. Die Abnahmeversuche können mit beiderseitiger Zustimmung bei kleineren Einheiten auf dem Prüfstand des Lieferanten vorgenommen werden.

3.2. Leitung der Abnahmeversuche

Die Leitung der Abnahmeversuche ist zwischen Besteller und Lieferer rechtzeitig zu vereinbaren. Sie kann einem neutralen Sachverständigen übertragen werden.

Die Leitung ist für die ordnungsgemäße Durchführung und Auswertung der Abnahmeversuche verantwortlich. Sie hat das Recht und die Pflicht, sich über alle hierfür erforderlichen Einzelheiten zu unterrichten.

Einem Vertragspartner, der nicht die Leitung der Abnahmeversuche innehat, muß ebenfalls die Möglichkeit gegeben werden, sich rechtzeitig über alle Einzelheiten zu unterrichten.

Bei Verwendung von Datenerfassungs- und Datenverarbeitungsanlagen hat der Benutzer solcher Anlagen deren Eignung für den vorgesehenen Zweck nachzuweisen. Sämtliche internen Rechenvorgänge müssen nachprüfbar sein.

Eine Beurteilung der Meßergebnisse nach Abschn. 6.3 und 6.4 muß möglich sein; zur Feststellung von Langzeitschwankungen oder Trends sind die Meßwerte in genügend engen Zeitintervallen auszudrucken.

3.3. Weitere Vereinbarungen

Zwischen Besteller und Lieferer sind ferner rechtzeitig zu vereinbaren: das Programm der Abnahmeversuche, die zu messenden Größen, Meßgeräte und Meßstellen sowie bei Abnahmeversuchen am Aufstellort das bereitzustellende Bedienungs- und Ablesepersonal. Auch über Vergleichsmessungen sind Vereinbarungen rechtzeitig zu treffen (s. Abschn. 4.2.2.1).

Es kann ein neutraler Sachverständiger bei allen Absprachen hinzugezogen werden.

3.4. Wiederholung von Abnahmeversuchen

Die Abnahmeversuche können auf Verlangen des Bestellers wiederholt werden, wenn der Lieferer aus von ihm zu vertretenden Gründen Änderungen vorgenommen hat, die ein nennenswertes Überschreiten des Dampfverbrauchs wahrscheinlich machen.

Eine Wiederholung kann auch von einem der Vertragspartner verlangt werden, wenn er das Ergebnis begründet anzweifelt.

3.5. Kosten der Abnahmeversuche

Die Übernahme der Kosten für die Abnahmeversuche und ihre etwaige Wiederholung ist im Liefervertrag festzulegen.

3.6. Wasserdampf tafel

Besteht keine Vereinbarung über die zu verwendende Wasserdampf tafel, so ist diejenige anzuwenden, die der Zusicherung zugrunde liegt.

4. Vorbereitung und Durchführung der Abnahmeversuche

4.1. Anordnung der Meßstellen

Die Meßstellen und die Einrichtungen für die Messungen sind schon beim Entwurf der Dampfturbinenanlage und der Rohrleitungen zu berücksichtigen.

Damit die Abnahmeversuche durchgeführt werden können – ohne die Betriebsführung zu beeinträchtigen –, müssen für die zum Nachweis der Zusicherung erforderlichen Meßgrößen zwischen den Partnern zusätzliche besondere Anschlußmöglichkeiten – wie z.B. Stutzen ohne Tauchhülsen – vereinbart werden.

In Kernkraftwerken sollten von Meßstellen, die sich innerhalb des Kontrollbereiches befinden, zusätzlich Meßkabel und Impulsleitungen zu solchen Stellen verlegt werden, die keiner oder nur geringer Strahlenbelastung ausgesetzt sind. Als Richtlinie soll hierbei die gesetzlich und darüber

hinaus vertraglich festgelegte maximale Dosisleistung für Räume dienen, die vom Betriebspersonal uneingeschränkt begangen werden können. Für die Herausführung von Meßkabeln aus Räumen mit größerer Strahlendosis sind ggf. Schächte oder Durchführungen vorzusehen.

4.2. Zustand der Anlage

4.2.1. Vorarbeiten

Bei Beginn der Abnahmeversuche muß sich die Anlage im ordnungsgemäßen Zustand befinden; hierfür sind wesentlich: der Zustand der Dampfturbine und der angetriebenen Arbeitsmaschine sowie die Sauberkeit und die Dichtigkeit des Kondensators, der Speisewasservorwärmer und Rohrleitungen einschließlich Armaturen. Hierzu gehört auch die Einrichtung zur Bedampfung der Wellendichtungen. In Kernkraftwerken mit Sattdampfturbinen sind zusätzlich noch die Wasserabscheider und Überhitzer zu überprüfen. Zwischen den Vertragspartnern muß hierüber Übereinstimmung bestehen.

Bei Abnahmeversuchen am Aufstellort ist dem Lieferer Gelegenheit zu geben, die Anlage vor Beginn der Abnahmeversuche auf ihren Zustand zu überprüfen, ggf. durch eigene Versuche. Hierbei festgestellte Mängel sind zu beseitigen.

Nicht benutzte Rohrleitungen, die innerhalb der um die Dampfturbine gelegten Bilanzhülle liegen, sind, soweit vertretbar, mit Blindflanschen abzugrenzen. Andernfalls ist die Dichtigkeit der Absperrung auf andere Weise sicherzustellen (s. Abschn. 4.2.4).

In Kernkraftwerken mit kontaminiertem Dampf ist bei Planung, Vorbereitung und Durchführung von Abnahmeversuchen der zuständige Strahlenschutzverantwortliche (1. Strahlenschutzverordnung (SSVO) § 20) zuzuziehen.

4.2.2. Zustand der Dampfturbine

Der Zustand der Dampfturbine ist abhängig vom Einfluß der Alterung²⁾ (s. Abschn. 7.4), von Teilschäden³⁾ und von Ablagerungen⁴⁾.

Der Zustand der Dampfturbine und seine Veränderungen können durch Öffnen der Dampfturbine oder durch Vergleichsmessungen festgestellt werden.

4.2.2.1. Vergleichsmessungen

Bei Vergleichsmessungen werden im Gegensatz zu den Abnahmeversuchen nur die für die Beurteilung des Zustandes der Dampfturbine wichtigsten Meßgrößen erfaßt. Dabei sollte die Meßunsicherheit nicht größer sein als bei

²⁾ Die Alterung ist, ordnungsgemäßer Betrieb vorausgesetzt, die Veränderung der Oberflächen von Bauteilen in den Strömungsräumen (z.B. Düsen, Leit- und Laufschaufeln) während des Betriebes und im Stillstand durch Erosion und Korrosion.

³⁾ Teilschäden: Beschädigungen und Spielveränderungen in der Beschaukelung, an Ausgleichkolben und Wellendichtungen; Verschleiß der Ventilspindeln; Undichtheiten an Ventilpackungen und Ventilsitzen.

⁴⁾ Ablagerungen: Salze oder Metalle auf der Dampfseite und Schlamm, Asche, Bakterien, Algen usw. auf der Kühlwasserseite.

den Abnahmeversuchen. Die erste Vergleichsmessung ist möglichst frühzeitig bei reproduzierbaren Betriebsbedingungen vorzunehmen. Sie wird Bezugsmessung genannt.

Art und Umfang der Vergleichsmessungen sowie Übernahme der Kosten sind zwischen Besteller und Lieferer zu vereinbaren (s. Abschn. 3.3). Die Vergleichsmessungen sollten gemeinsam vom Hersteller und Betreiber durchgeführt werden.

Für den Vergleich empfiehlt sich, den inneren Wirkungsgrad, den Verlauf der Drücke und Temperaturen, die Dampfströme in den Wellendichtungen und ggf. der Ausgleichkolben, die Grädigkeit des Kondensators und die Laufruhe der Dampfturbine an geeigneten Stellen zu messen.

4.2.2.2. Zeitpunkt der Vergleichsmessungen

Die Vergleichsmessungen sollten durchgeführt werden:

- a) als Bezugsmessung unmittelbar nach dem ersten Belasten, ggf. auch bei Teillasten,
- b) rechtzeitig vor den Abnahmeversuchen,
- c) nach einem etwaigen Spülen,
- d) im Rahmen der Abnahmeversuche,
- e) im Bedarfsfall vor und nach der Revision.

4.2.2.3. Berücksichtigung der Meßergebnisse

Weicht das Ergebnis der Bezugsmessung von den nach der Zusicherung zu erwartenden Werten wesentlich ab, so müssen zwischen Besteller und Lieferer Abhilfemaßnahmen vereinbart werden.

Weist das Ergebnis einer Vergleichsmessung auf eine durch Spülen zu beseitigende Ablagerung hin, so kann der Lieferer vom Besteller das Spülen der Dampfturbine verlangen. Stimmt die Vergleichsmessung nach dem Spülen mit der Bezugsmessung hinreichend überein, so können dann Abnahmeversuche durchgeführt werden; stimmt sie dagegen nicht hinreichend überein, so ist zwischen den Vertragspartnern eine Vereinbarung über die Beseitigung des Mangels oder die Durchführung der Abnahmeversuche notwendig, insbesondere wenn ein nicht ohne weiteres klärbarer und deshalb auch nicht sofort zu beseitigender Mangel vorliegt.

4.2.2.4. Öffnen der Dampfturbine

Das Öffnen der Dampfturbine oder einzelner Gehäuse zur eindeutigen Feststellung von Mängeln kommt in Frage, wenn

- a) Vergleichsmessungen höheren Aufwand als das Öffnen der Dampfturbine erfordern,
- b) bei Vergleichsmessungen größere, nicht klärbare Abweichungen auftreten.

4.2.3. Zustand des Kondensators

Der Zustand des Kondensators kann durch Öffnen der Wasserkammern, z.B. bei Wirbelstromprüfung, oder durch geeignete Meßverfahren wie z.B. durch Bestimmung der

Grädigkeit überprüft werden. Im Falle einer Verschmutzung⁴⁾ ist der Kondensator vom Besteller auf Verlangen des Lieferers vor den Abnahmeversuchen zu reinigen.

4.2.4. Zustand von Entwässerungseinrichtungen bei Sattdampfturbinen

Die für Sattdampfturbinen betriebswichtigen Entwässerungseinrichtungen (Kondensatabläufe) bleiben in Funktion.

Die störungsfrei arbeitenden Entwässerungen sind im Massenstrom der Turbine integriert, d.h. sie sind bei der Bestimmung des spezifischen Wärmeverbrauchs zum Garantienachweis berücksichtigt und nicht als Undichtheiten zu betrachten.

Kondensatableiter sind vor den Abnahmeversuchen, z.B. bei der Lagerkontrolle, auf Funktionstüchtigkeit und optimale Einstellung zu kontrollieren.

Bei Störungen werden diese Entwässerungsmassenströme mit Hilfe von Massenstromkurven der Kondensatableiter berücksichtigt (s. Abschn. 5.1).

4.2.5. Dichtheitsprüfungen

Kondensator, Speisewasservorwärmer und Rohrleitungen einschließlich Armaturen sowie bei Sattdampfturbinen die Wasserabscheider und Überhitzer, sind vor – und im Zweifelsfalle auch nach – den Abnahmeversuchen auf Dichtheit zu prüfen. Daher sind die vertraglich vereinbarten Werte einzuhalten⁵⁾.

4.2.6. Sauberkeit der Dampfsiebe und Wasserabscheider

Dampfsiebe und Wasserabscheider müssen, falls erforderlich, vor den Abnahmeversuchen gereinigt werden.

4.3. Vorversuche

Dem mit der Durchführung der Abnahmeversuche Beauftragten ist vor deren Beginn die Möglichkeit für Vorversuche zu geben. Diese haben den Zweck, die Meßgeräte zu überprüfen und das Ablesepersonal zu unterweisen.

Ein Vorversuch kann nachträglich bei gegenseitigem Einverständnis als Abnahmeversuch gewertet werden, sofern die Bedingungen nach Abschn. 4.4 erfüllt sind, und die Berechnung der Ergebnisse nach Abschn. 6 vorliegt.

4.4. Abnahmeversuche

4.4.1. Beharrungszustand und Versuchsbedingungen

Vor Beginn der Abnahmeversuche sind die Größen, die das Ergebnis beeinflussen, so gut wie möglich in den Beharrungszustand zu bringen und für die Dauer der Abnahmeversuche innerhalb der zulässigen Abweichungen (s. Abschn. 4.4.2) unverändert zu halten.

4.4.2. Einhalten der vereinbarten Betriebsbedingungen

Können bei den Abnahmeversuchen die im Liefervertrag festgelegten Bedingungen für Drücke, Temperaturen,

⁵⁾ Bei Dampfturbinen mit kontaminiertem Dampf dürfen die vereinbarten Werte besonders wegen der nachgeschalteten Absauganlage nicht überschritten werden.

Tabelle 1. Höchstzulässige Abweichung der Versuchsdurchschnittswerte von den Bezugswerten für die Zusicherung.

Einflußgröße	Formelzeichen	Höchstzulässige Abweichung
Frischdampfdruck Frischdampftemperatur	p_{FD} t_{FD}	$\pm 5 \%$ $\pm 15 \text{ K}$
Entnahmedruck Abdampfdruck bei Gegendruckturbinen bei Kondensations- turbinen	p_E p_{Abd}	$\pm 5 \%$ $\pm 5 \%$ $\pm 25 \%$, wenn der Kondensator in der Zusicherung nicht enthalten ist.
Zwischenüberhitzungs- temperatur isentropes Enthalpie- gefälle Leistung	$t_{ZÜ}$ Δh_s P	$\pm 15 \text{ K}$ $\pm 7 \%$ $\pm 7 \%$
Kühlwasserstrom Kühlwasser-Eintritts- temperatur Speisewasser- Endtemperatur Drehzahl Höchstzulässige nicht lokalisierbare Undicht- heitsverluste im geschlossenen Kreislauf in Prozent des Frisch- dampfstroms bezogen auf den	$\dot{m}_W$ t_{W1} t_{Sp} n $\dot{m}_V$	$\pm 15 \%$, wenn der Kondensator in der Zusicherung enthalten ist. $\pm 5 \text{ K}$ $\pm 10 \text{ K}$ $\pm 5 \%$ $0,6 \%$ in konventionellen Kraftwerken $0,4 \%$ in Kern-Kraftwerken ⁶⁾

Kühlwasserstrom, Drehzahl usw. infolge betriebsbedingter Schwankungen oder sonstiger nicht vom Lieferer zu tretenden Umstände nicht eingehalten werden, so sind die in Tabelle 1 angegebenen Abweichungen der Versuchsdurchschnittswerte (Mittelwerte) von den Bezugswerten für die Zusicherung zugelassen.

Die höchstzulässige Schwankung um den Versuchsmittelwert während eines Abnahmeversuches darf nicht mehr als die Hälfte der in Tabelle 1 angegebenen Abweichungen betragen. Ausgenommen hiervon ist die Leistung, die um $\pm 5 \%$ schwanken darf.

Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, so können die Messungen nur zur Information dienen, sofern nicht im Einzelfall besondere Vereinbarungen über den Einfluß der abweichenden Betriebsbedingungen, z.B. unter Beachtung von Abschn. 8, getroffen werden.

⁶⁾ Dieser Wert kann durch die 1. Strahlenschutzverordnung mit der Festlegung höchstzulässiger Konzentration kontaminierter Stoffe in der Luft auf einen kleineren Wert begrenzt werden (s. Abschn. 6.2.3.4.).

4.4.3. Besondere Einstellungen an der Dampfturbine für Abnahmeversuche

4.4.3.1. Stellung der Frischdampf-Stellventile

Bei *Düsengruppenregelung* sind die Abnahmeversuche mit ausgesteuerten Stellventilen durchzuführen. Es ist zu beachten, daß zum Erreichen geringster Drosselung die bei der jeweiligen Belastung geöffneten Stellventile möglichst weit angesteuert und die folgenden noch nicht geöffnet sind. Dabei darf sich die Leistung nur in den Grenzen nach Abschn. 4.4.2 verändern. Bei Entnahme- und Zweidruckturbinen darf der Entnahme- oder Zweidruckstrom so verändert werden, daß die Niederdruck- oder die Zweidruck-Stellventile möglichst weit angesteuert sind.

Bei starken betriebsbedingten Schwankungen der Leistung oder des Dampfstromes ist es zulässig, zum Beibehalten möglichst weit angesteuerter Stellventile eine Öffnungsbegrenzung vorzunehmen. Die Stellung der Stellventile untereinander darf nicht von der bei Dauerbetrieb abweichen.

Bei *Gleitdruckbetrieb* sind die Abnahmeversuche ebenfalls mit ausgesteuerten Stellventilen durchzuführen. Das gleiche gilt bei *Drosselregelung*, wenn ein Lastpunkt bei angesteuerten Stellventilen zugesichert ist.

4.4.3.2. Sonstige vom Dauerbetrieb abweichende Einstellungen

An der Dampfturbine sind keine besonderen Einstellungen vorzunehmen, die für den Dauerbetrieb mit den vertraglichen Leistungen und Betriebszuständen ungeeignet sind. Davon ausgenommen sind abweichende Einstellungen an der Entlüftung zur Vakuumregelung und der Lastbegrenzungseinrichtungen. Ferner sind ähnliche Maßnahmen zulässig, wie Absperren von Entwässerungs- und Entlüftungsventilen, soweit dies aus betrieblichen oder sicherheitstechnischen Gründen zulässig und vertretbar ist.

4.4.4. Dauer der Einzelversuche

Versuche zur Bestimmung von Dampfverbrauch, Wärmeverbrauch oder Dampfdurchfluß sollten mindestens 30 Minuten dauern. Ausgenommen sind nicht zugesicherte Lastpunkte, für die im Einzelfall eine kürzere Meßdauer gewählt werden kann, z.B. Richtwerte für Leerlauf oder Überlast. Versuche zur Bestimmung der Nennleistung sollten mindestens 15 Minuten dauern.

4.4.5. Häufigkeit der Ablesungen

Zusammengehörige Meßwerte sind möglichst in gleichen Zeitintervallen abzulesen.

Da die Meßgrößen nicht konstant sind, lassen sich zufällige Fehler auch beim Ablesen in gleichen Zeitabständen nicht vermeiden. Die Zeitabstände sind so kurz zu wählen, daß diese Fehler das Gesamtmeßspiel möglichst nur unwesentlich beeinflussen. Die wichtigsten Größen hierbei sind Druck und Wirkdruck bei der Durchflußmessung sowie elektrische Leistung. Bei Messungen bis zu einer Stunde

Dauer wird das Ablesen in Abständen von einer Minute diese Forderung bei den in Tafel 1 angegebenen Höchstabweichungen befriedigend erfüllen. Drücke und Temperaturen zum Bestimmen von Zustandsgrößen dürfen je nach Größe und Art der Schwankungen in längeren Zeitabständen, z.B. von 3 bis 5 Minuten, abgelesen werden.

Bei größeren Dampfturbineneinheiten, insbesondere in Kernkraftwerken, wird es u.a. aus Gründen der Strahlungsbelastung zweckmäßig sein, elektronische Datenerfassungsanlagen einzusetzen. Damit besteht die Möglichkeit, Meßwerte fast zeitgleich zu erfassen.

4.4.6. Ablesen zählender (integrierender) Meßgeräte

Mittelwerte der elektrischen Leistung und der Massenströme können auch mit zählenden Meßgeräten bestimmt werden, indem der Unterschied der jeweiligen Zählerstände durch die zugehörige Zeitspanne geteilt wird. Die Meßunsicherheit für die Zeit darf nicht mehr als 1‰ betragen. Sämtliche zählende Meßgeräte müssen im selben Zeitpunkt und außerdem gleichzeitig mit den entsprechenden anzeigenden Meßgeräten abgelesen werden.

Werden anzeigende und integrierende Geräte gleichzeitig verwendet oder sind die Ableseintervalle an den verschiedenen Meßstellen ungleich, so dürfen die ersten und letzten Ablesewerte an anzeigenden Instrumenten nur mit halbem Gewicht zugrunde gelegt werden.

Beim Vergleich von Mittelwerten, die mit zählenden Meßgeräten gewonnen werden, mit Mittelwerten aus Ablesungen anzeigender Meßgeräte ist darauf zu achten, daß beide

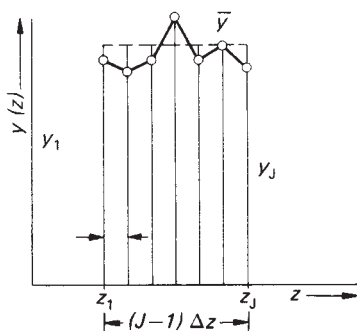


Bild 1. Mittelwertbildung über der Versuchszeit.

Es gilt:

$$\bar{y} = \frac{1}{(J-1)\Delta z} \int_{z_1}^{z_J} y(z) dz$$

$$\int_{z_1}^{z_J} y(z) dz = \Delta z \left(\frac{y_1}{2} + \sum_{j=2}^{J-1} y_j + \frac{y_J}{2} \right) \quad (\text{Trapezformel})$$

$$\bar{y} = \frac{1}{J-1} \left(\frac{y_1}{2} + \sum_{j=2}^{J-1} y_j + \frac{y_J}{2} \right).$$

Hier bedeuten:

- z Zeitpunkt der Ablesung der anzeigenden Meßgeräte
- z_1 Beginn der Zählung
- z_J Ende der Zählung
- Δz Zeitabstand zwischen zwei Ablesungen am Anzeigergerät
- J Anzahl der Ablesungen während der Versuchszeit
- y_j Augenblickswert, mit Anzeigergeräten bestimmt
- $\bar{y}$ Mittelwerte der Meßgröße für die Versuchszeit

auf die gleiche Versuchszeit bezogen sind. Der Mittelwert aus den Ablesungen der einzelnen Meßgeräte kann mit Hilfe der Trapezformel nach Bild 1 bestimmt werden. (s.a. Abschn. 6.1.2).

4.4.7. Ergänzungsmessungen

Stellen sich vor oder während der Messungen Mängel heraus, die nicht sofort, aber in verhältnismäßig kurzer Zeit zu beheben sind, so können die Versuche ungeachtet dieser Mängel fortgeführt und nach deren Beseitigung durch eine zusätzliche Messung ergänzt werden, wenn die damit verbundene Korrektur rechnerisch ausreichend genau erfaßt werden kann (z.B. geringfügige Veränderung der Kondensatorgrädigkeit, Ausfall eines Vorwärmers oder auch Mängel an Meßgeräten). Sollte sich durch Lastschwankungen ein Stellventil öffnen, das bei der Versuchslast geschlossen sein müßte, oder sollte eine unzulässig große Schwankung in den Versuchsbedingungen vorübergehend auftreten, so kann der gestörte Versuchsabschnitt im Einverständnis der Beteiligten nachträglich herausgenommen werden, sofern für die wesentlichen Meßgrößen, insbesondere Leistung und Dampfstrom, eine noch ausreichende Anzahl zeitlich übereinstimmender Ablesungen vorhanden ist.

4.4.8. Versuchsprotokoll

Jeder Vertragspartner erhält unmittelbar nach dem Versuch einen Satz der Aufzeichnungen mit allen Unterlagen, die ihm vorab eine Auswertung ermöglichen.

5. Meßverfahren und Meßgeräte

5.1. Allgemeines

Die Vertragspartner sollten sich möglichst frühzeitig über die bei den Abnahmeversuchen anzustrebende Genauigkeit einigen. Dabei sollte die Genauigkeit mit Rücksicht auf die Kosten der Abnahmeversuche in einem angemessenen Verhältnis zur Bedeutung der Anlage stehen.

In Kernkraftwerken sind die für die Abnahmeversuche vorgesehenen Meßgeräte vor Kontamination so zu schützen, daß diese Geräte außerhalb von Kontrollbereichen nachgeicht bzw. nachkalibriert werden können.

Die Überprüfung aller Meßeinrichtungen auf radioaktive Kontamination erfolgt jeweils vor dem Verlassen des Kontrollbereiches durch das zuständige Strahlenschutzpersonal.

In Tabelle 2 sind die Anforderungen zusammengestellt, die bei einem Abnahmeversuch mit normaler Genauigkeit an die Instrumentierung gestellt werden müssen. Ebenso ist angegeben, welche Meßspiele dann für die Einzelmeßgrößen nach allgemeiner Erfahrung zu erwarten sind.

Die Meßverfahren und Meßgeräte sind so zu wählen, daß die anzustrebende Genauigkeit des Endergebnisses erreicht wird und eindeutig nachgewiesen werden kann. Dies trifft besonders bei Einsatz von Datenerfassungsanlagen zu.

Die Unsicherheit der Einzelmessungen sollte in einem angemessenen Verhältnis zum Gesamtmeßspiel stehen.

Tabelle 2. Normalinstrumentierung für Abnahmeversuche.

Pos.	Meßgröße	Meßinstrument	Genauigkeits- klasse %	Anwendungs- bereich	relatives Meßspiel+) der Meßgröße %	Bemerkungen
1	Druck	Kolbenmanometer	—	$p > 2 \text{ bar}$	$\pm 0,3$	
2		Meßumformer	—	für alle Druckbereiche	$\pm 0,3 \text{ bis } 0,5$	
3a		Federmanometer, kalibriert	0,1 bis 0,3	$p > 2 \text{ bar}$	$\pm 0,3 \text{ bis } 0,6$	
3b		Federmanometer, kalibriert	0,6	$p > 2 \text{ bar}$	$\pm 1,0$	
4		U-Rohr-Flüssigkeits- manometer, Hg-gefüllt	—	$p < 2 \text{ bar}$	$\pm 100 \frac{1 \text{ mm}}{\text{Ablesewert}}$	
5		U-Rohr-Flüssigkeits- manometer, Sperrflüssigkeit mit $\rho < \rho_{\text{Hg}}$	—	$p < 2 \text{ bar}$	$\pm 100 \frac{2 \text{ mm}}{\text{Ablesewert}}$	
6	Wirkdruck	Flüssigkeitsmanometer	—	$\Delta h^* > 100 \text{ mm}$	wie Pos. 4 bzw. Pos. 5	
7		Differenzdruckmeß- umformer	—	für alle Bereiche	$\pm 0,3 \text{ bis } 0,5$	
8	Temperatur	Thermoelemente geeicht Kompensator	+++)	$t < 100^\circ\text{C}$ $100 < t < 300^\circ\text{C}$ $t > 300^\circ\text{C}$ +++)	$\pm 100 \frac{0,10 \text{ K}}{\text{Ablesewert}} \cdot \bullet)$ $\pm 100 \frac{1,5 \text{ K}}{\text{Ablesewert}}$ $\pm 0,5$ +++)) ++)	vgl. VDI/VDE 3511, 3512 Bl.2 und DIN 43710
9		Widerstandsthermometer	—	$t > 0^\circ\text{C}$	wie Pos. 8	vgl. VDI/VDE 3511, DIN 43760
10		Glas-Thermometer mit 1/10 K-Teilung, geeicht	0,10 K	$t < 100^\circ\text{C}$	$\pm 100 \frac{0,10 \text{ K}}{\text{Ablesewert}} \cdot \bullet)$	vgl. VDI/VDE 3511, und 3512 Bl.2
11	Maßgebliche Ströme ($> 20\%$ des FD-Stroms)	Drosselgeräte (mit normgemäßen Einlauf- und Auslauf- verhältnissen)		DIN 1952 sowie VDI 2040 und 2041		Die Wahl der Drosselgeräte ist unter Berücksich- tigung des ge- wünschten Gesamt- meßspiels zu treffen
12		Meßflügel	—	$D > 1000 \text{ mm}$	IEC Publication 41	
13		Behälter geeicht	—	—	$\pm 0,3$	
14	Elektrische Leistung	Meßwandler plus Wirkleistungsmesser	$< 0,2$ $\leq 0,2$	—	0,3 bis 0,6	VDE 0410, 0414 und 0418 IEC Publ. 41
15	Strom	Amperemeter	0,2	—	—	IEC Publ. 41
16	Spannung	Voltmeter	0,2	—	—	
17	Mechanische Leistung	Torsionsdynamometer oder Thermodynamische Meßmethode	—	IEC Publ. 41	(ca. ± 2)	s. DIN 1944 für Kreiselpumpen
18		Handdrehzahlmesser	—	Eichbereich	$\pm 1,0$	
19	Drehzahl	Handstich-Drehzähler	—	Eichbereich	$\pm 0,5$	—
20		Elektronisches Zählwerk	—	Eichbereich	$\pm 0,1$	—
21	Luftdruck (Barometer- stand)	Barometer	$\leq 0,2$		($\pm 0,2 \text{ mb}$) $\pm 0,02$	

Wichtige Größen sind möglichst nach verschiedenen Meßverfahren oder mit voneinander unabhängigen Meßanordnungen zu ermitteln.

Grundsätzlich sind folgende Meßgeräte für die Abnahmeversuche zugelassen:

- a) Meßgeräte, für die das Eichzeugnis einer anerkannten Behörde vorgelegt wird,
- b) eichfähige Meßgeräte, die durch Vergleich mit geeichten Meßgeräten nach a) kalibriert worden sind,
- c) genormte Meßgeräte mit bekannter Genauigkeit,
- d) andere bewährte Meßgeräte mit bekannter Genauigkeit, deren Verwendung zwischen den Vertragspartnern vereinbart wird.

Alle Meßgeräte (besonders Drosselgeräte) sind unmittelbar vor dem Einbau auf Zustand und Maßhaltigkeit zu prüfen. Ferner ist festzustellen, ob die Einbaustelle, der Einbau und das Meßgerät selbst den einschlägigen Vorschriften entsprechen. Das Ergebnis ist zu protokollieren.

5.2. Bestimmung der Leistung

5.2.1. Bestimmung der Leistung von Dampfturbinen

5.2.1.1. Allgemeines

Die Leistung der Dampfturbine kann grundsätzlich nach einem der drei folgenden Verfahren bestimmt werden.

5.2.1.2. Bestimmen der Leistung aus der Energiebilanz der Dampfturbine

Die gesuchte Leistung ergibt sich aus der algebraischen Summe aller Energieströme, die durch die um die Dampfturbine gelegte Bilanzhülle treten⁷⁾.

5.2.1.3. Bestimmen der Leistung aus der Energiebilanz der angetriebenen Arbeitsmaschine

Die gesuchte Leistung ergibt sich aus der algebraischen Summe aller Energieströme, die durch die um die Arbeitsmaschine gelegte Bilanzhülle treten⁷⁾. Im übrigen sind die für die betreffende Maschinenart geltenden Abnahmeregeln anzuwenden, s. DIN 1944 [2], VDI 2044 [15], VDI 2045 Bl.1 u. 2 [16], VDE 0530 [11].

5.2.1.4. Bestimmen der Leistung aus Drehmoment und Drehzahl

5.2.1.4.1. Drehmoment

Das Drehmoment der Dampfturbine (z.B. Schiffsturbine)

⁷⁾ Energieströme von untergeordneter Bedeutung, z.B. die durch Leitung und Strahlung an die Umgebung abfließende Wärme, können vielfach genügend genau geschätzt und brauchen nicht gemessen zu werden.

■ Balken deutet Maßnahmen von besonderer Art an.

wird mit Brems- oder Torsionsdynamometer gemessen. Die Dynamometer sind vor und nach dem Abnahmeversuch bei gleichmäßig steigender und fallender Belastung zu kalibrieren. Unterscheiden sich die bei steigender und fallender Belastung angezeigten Werte in einem oder mehreren Lastpunkten um mehr als 1 %, so gilt das Dynamometer als nicht geeignet.

5.2.1.4.2. Drehzahl

Von den Verfahren zur Messung der Drehzahl (s. Abschn. 5.5) sind zum Bestimmen der Leistung aus Drehmoment und Drehzahl nur solche zulässig, deren Unsicherheit höchstens gleich der der Drehmomentmessung ist.

5.2.2. Messung der elektrischen Leistung (Wirkleistung)

5.2.2.1. Meßverfahren

Die elektrische Leistung wird entweder unmittelbar mit Leistungsmessern (Wattmetern) gemessen oder mittelbar aus der in der Versuchszeit mit Zählern gemessenen elektrischen Arbeit bestimmt.

Bei Dreiphasen-Generatoren mit unbelastetem Sternpunkt ist die Leistung nach dem Zwei- oder Drei-Wattmeter-Verfahren (bzw. Zwei- oder Drei-Zähler-Verfahren) zu bestimmen. Bei Dreiphasen-Generatoren mit belastetem Sternpunkt ist die Leistung nur nach dem Drei-Wattmeter-Verfahren (bzw. Drei-Zähler-Verfahren) zu ermitteln. Bei j stromführenden Leitern muß die Leistung in mindestens $(j - 1)$ Leitern gemessen werden (s. die Veröffentlichung in Bull. SEV „Energiesmessung in Drehstrom-Hochspannungsnetzen“ [24]).

Bei Einphasen-Generatoren genügt zum Bestimmen der Leistung ein Leistungsmesser bzw. Zähler.

Bei Gleichstrom-Generatoren wird die Leistung im allgemeinen durch Messung von Stromstärke und Spannung bestimmt.

5.2.2.2. Wahl der Meßstellen

Die Meßgeräte sind nahe der Stelle anzuschließen, auf welche sich die vertraglich vereinbarte Leistung bezieht (s. hierzu VDEW-Begriffsbestimmung in der Energiewirtschaft, 4. Aufl. [31]).

Hinter Verzweigungen (z.B. Entnahme des Eigenbedarfs) sind die Meßgeräte möglichst nahe der Verzweigungsstelle anzuschließen. Falls erforderlich, sind die Verluste zwischen Meßstelle und Verzweigungsstelle rechnerisch zu ermitteln und zu berücksichtigen.

Kann die Leistung nur auf der Oberspannungsseite eines an den Generator angeschlossenen Transformators gemessen werden, so sind die Verluste des Transformators und – falls erforderlich – der Verbindungsleitungen zwischen

◀ *) Δh bedeutet hier den in Millimeter gemessenen Abstand zwischen den beiden Pegeln in den Schenkeln des Flüssigkeitsmanometers.

+) Bei der Bestimmung des Meßspiels ist die jeweils angegebene Klassengenauigkeit des Meßinstruments ggf. durch die Genauigkeit der Eichung oder Kalibrierung zu ersetzen.

++) Zu dem relativen Meßspiel sind die Unsicherheiten der Spannungsmeßgeräte (Kompensator 0,2 %, Digitalvoltmeter Klasse 0,05 %) zuzurechnen.

+++) s. Eichordnung Anlage XIV, Abs. 2 [30]

●) Diese Maximalwerte können durch die Eichscheinwerte ersetzt werden

Generator und Transformator zu berechnen und der gemessenen Leistung hinzuzufügen.

Wenn sich die Zusicherungen auf die an das Netz abgegebene Leistung beziehen, so ist die Leistung nach Möglichkeit auf der Oberspannungsseite des Transformators zu messen.

5.2.2.3. Anschluß der Meßgeräte

Die Meßgeräte sind so anzuordnen und die Leitungen so zu führen, daß die Meßwerte nicht durch Magnetfelder verfälscht werden können. Die Meßleitungen sind so zu bemessen, daß das Meßergebnis nicht beeinträchtigt wird. Sie sind nach Möglichkeit zu verdrillen. Im Meßraum sollte möglichst die für die Meßgeräte geltende Nenn-temperatur herrschen. Ist ein Fremdfeldeinfluß möglich, so müssen Meßgeräte verwendet werden, die gegen Fremdfelder unempfindlich sind.

5.2.2.4. Meßgeräte und Meßwandler

Zur Messung der Leistung des Generators sind Meßwandler, Leistungsmesser und Zähler zu verwenden, deren Güteklasse der angestrebten Genauigkeit des Ergebnisses entspricht. Es ist darauf zu achten, daß die zulässige Bürde der Meßwandler nicht überschritten wird. Nach Installation aller Meßgeräte ist die Bürde zu messen (s. Eichordnung XV, § 979, Teil II).

Sind für die verwendeten Meßwandler Prüffeldunterlagen vorhanden, so können die Meßwerte danach korrigiert werden.

Meßwandler und Meßgeräte sollen so ausgerüstet werden, daß die Ausschläge möglichst mehr als 50 % des Skalendwertes betragen. Die Ausschläge können durch Zwischenwandler ausreichender Güteklasse vergrößert werden. Wird die Leistung aus der in der Versuchszeit mit Zählern ermittelten elektrischen Arbeit bestimmt, so ist die Zeitspanne zwischen Beginn und Ende der Zählung mit einer Unsicherheit von nicht mehr als $\pm 1\%$ zu messen.

Es sind die folgenden Richtlinien zu beachten:

VDE 0410 [7], VDE 0414 [9], VDE 0418 [10],
PTB-Richtlinien für elektrische Zähler [22].

5.3. Messen der Zustandsgrößen

5.3.1. Druck

5.3.1.1. Wahl der Meßstellen

Gemessen wird der statische Druck – und zwar an einer Stelle mit möglichst paralleler Strömung. Bei nichtparalleler Strömung sind mehrere Meßstellen über den Strömungsquerschnitt zu verteilen.

Die Meßstellen sollen nach Möglichkeit in der Nähe der Bezugsquerschnitte liegen. Gegebenenfalls ist der Druckunterschied zwischen Meßstelle und Bezugsquerschnitt rechnerisch zu berücksichtigen.

Die Bohrungen für Druckmeßgeräte sind im rechten Winkel zur Rohrrinnenfläche anzubringen. Der Innenrand der Bohrung muß gratfrei sein und scharfe, rechtwinklige Kanten haben. Der Durchmesser soll mindestens 6 mm aber nicht mehr als 15 mm betragen.

5.3.1.2. Anschluß der Meßgeräte

Die Impulsleitungen der Meßgeräte sind nach den gültigen Vorschriften VDI/VDE 3512, Bl.3 zu verlegen [21].

Besonderer Sorgfalt bedarf das Entlüften bzw. Belüftung der Leitungen bei Kernkraftwerken mit kontaminiertem Dampf. Es wird empfohlen, die Leitungen zum Meßgerät im drucklosen Anlagenzustand mit vollentsalztem Wasser zu spülen und auch zu füllen. Bei der Belüftung von Leitungen im Unterdruckbereich ist Rücksicht auf die der Kondensatorabsaugung nachgeschalteten Abgasanlage zu nehmen. Auf das Durchblasen von Leitungen im Überdruckbereich ist wegen der dadurch freiwerdenden Gas- und Aerosolaktivität zu verzichten.

In notwendigen Ausnahmefällen kann dies nur in Verbindung mit dem zuständigen Strahlenschutzpersonal geschehen.

Bei der Bestimmung des Drucks an der Entnahmestelle ist der Höhenunterschied zwischen der Druckmeßstelle und dem Aufstellort des Manometers zu beachten.

Die elektrischen Leitungen von den Meßwertgebern sollen in Kernkraftwerken außerhalb des Kontrollbereichs geführt werden (s.a. Abschn. 4.1).

5.3.1.3. Meßgeräte

Unterdruck und geringer Überdruck werden mit Flüssigkeitsmanometern, höherer Druck mit Kolben- oder Federmanometern gemessen. Bei Flüssigkeitsmanometern ist die Abhängigkeit der Dichte der Flüssigkeit von der Temperatur zu berücksichtigen⁸⁾.

Meßumformer und Meßwandler können auch verwendet werden [6].

Die Meßgeräte dürfen nicht in der Nähe heißer Rohrleitungen angeordnet werden. Sie sind vor Schwingungen zu schützen.

Es empfiehlt sich, die für den Zusicherungsnachweis wichtigsten Druckmeßgeräte vor bzw. nach den Abnahmeversuchen zu kalibrieren.

5.3.2. Temperatur

Temperaturmessungen sind nach VDI/VDE 3511 und VDI/VDE 3512, Bl.2 [20; 21] durchzuführen.

5.3.2.1. Wahl der Meßstellen

Die Thermometertaschen sind an Stellen gleichmäßiger Temperaturverteilung (möglichst nahe hinter den Druckmeßstellen) vorzusehen. Auf keinen Fall dürfen sie sich in Strömungstoträumen befinden. Die Eintauchtiefe in das Medium muß so groß sein, daß Fehler durch Wärmeableitung vernachlässigbar klein werden.

⁸⁾ Zwischen Hersteller und Betreiber der Dampferzeugungsanlage ist die Art der zu verwendenden Sperrflüssigkeit im Hinblick auf deren möglicherweise korrosive Eigenschaften abzusprechen. Dies gilt ganz besonders für die Benutzung der zu verwendenden Flüssigkeit in Kernkraftwerken, wo mit Rücksicht auf hochlegierte Stähle und Brennelementhüllen die Verwendung von Quecksilber nicht möglich ist, es sei denn, daß ein Übertreten der Flüssigkeit aus dem Manometer in die Leitung durch Zwischenschalten einer Auffangvorrichtung ausgeschlossen werden kann.