

Industrieroboter
Leistungskenngrößen und zugehörige Prüfmethode
 (ISO 9283 : 1998)
 Deutsche Fassung EN ISO 9283 : 1998

DIN
EN ISO 9283

ICS 25.040.30

Ersatz für
DIN EN 29283 : 1993-04

Manipulating industrial robots – Performance criteria and related test methods
 (ISO 9283 : 1998);
 German version ISO 9283 : 1998
 Robots manipulateurs industriels –
 Critères de performance et méthodes d'essai correspondantes (ISO 9283 : 1998);
 Version allemande ISO 9283 : 1998

Die Europäische Norm EN ISO 9283 : 1998 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

EN ISO 9283 : 1998 wurde am 27. Februar 1998 angenommen.

Nationales Vorwort

Diese Norm beinhaltet die Deutsche Fassung der über die Parallelumfrage übernommenen ISO 9283 : 1998. Die nationalen Interessen wurden dabei vom Fachbereich Montage- und Handhabungstechnik im Normenausschuß Maschinenbau (NAM) des DIN e. V. wahrgenommen.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen, soweit sie nicht als DIN-EN-Normen (bzw. DIN-EN-ISO oder DIN-EN-IEC) mit gleicher Zählnummer veröffentlicht worden sind, wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 9787 siehe DIN EN 29787

ISO 9946 siehe DIN EN 29946

Die Internationalen Normen unterliegen derzeit ebenfalls der Revision.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 29283 : 1993 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Nenngrößen und Prüfmethode geändert.

Frühere Ausgaben

DIN EN 29283: 1993-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 29787

Industrieroboter – Koordinatensysteme und Bewegungsrichtungen (ISO 9787 : 1990)

DIN EN 29946

Industrieroboter – Darstellung charakteristischer Eigenschaften (ISO 9946 : 1991)

Fortsetzung 39 Seiten EN

Normenausschuß Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

– Leerseite –

Deskriptoren:

Deutsche Fassung

Industrieroboter
Leistungskenngrößen und zugehörige Prüfmethode
(ISO 9283 : 1998)

Manipulating industrial robots – Performance criteria
and related test methods (ISO 9283 : 1998)

Robots manipulateurs industriels – Critères de per-
formance et méthodes d'essai correspondantes
(ISO 9283 : 1998)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 27. Februar 1998 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CEN

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	7.3	Abstandsgenauigkeit und -Wiederholgenauigkeit 16
Einleitung	3	7.4	Positions-Stabilisierungszeit 18
1 Anwendungsbereich	3	7.5	Positions-Überschwingen 18
2 Verweisungen auf andere Normen	3	7.6	Drift von Posekenngrößen 20
3 Begriffe	3	7.7	Austauschbarkeit (<i>E</i>) 21
4 Einheiten	4	8 Bahnkenngrößen	22
5 Abkürzungen und Symbole	4	8.1	Allgemeines 22
5.1 Grundsätzliche Abkürzungen	4	8.2	Bahn-Genauigkeit (<i>AT</i>) 22
5.2 Größen	4	8.3	Bahn-Wiederholgenauigkeit (<i>RT</i>) 23
5.3 Indizes	4	8.4	Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung 23
5.4 Weitere Symbole	4	8.5	Abweichungen beim Fahren einer Ecke 24
6 Leistungskenngrößen und Prüfverfahren	4	8.6	Bahngeschwindigkeitskenngrößen 26
6.1 Roboteraufstellung	4	9 Mindestpositionierzeit	27
6.2 Bedingungen vor der Prüfung	4	10 Statische Nachgiebigkeit	28
6.3 Betriebs- und Umgebungsbedingungen	4	11 Anwendung spezifischer Leistungskenngrößen 28	
6.4 Grundsätze zur Wegmessung	5	11.1	Abweichungen beim Pendeln 28
6.5 Meßausrüstung	5	12 Prüfbericht	29
6.6 Belastung der mechanischen Schnittstelle	7	Anhang A (normativ) Parameter für	
6.7 Prüfgeschwindigkeiten	7	Vergleichsprüfungen	29
6.8 Festlegungen für zu prüfende Posen		Anhang B (informativ) Anleitung zur Auswahl von	
und zu fahrende Bahnen	7	Leistungskenngrößen für	
6.9 Anzahl der Zyklen	10	typische Anwendungen	33
6.10 Prüfverfahren	10	Anhang C (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht . 35	
6.11 Zu prüfende Kenngrößen - Anwendungen	11	Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen	
7 Posekenngrößen	11	auf internationale Publikationen mit	
7.1 Allgemeine Beschreibung	11	ihren entsprechenden europäischen	
7.2 Pose-Genauigkeit und		Publikationen	39
Pose-Wiederholgenauigkeit	11		

Vorwort

Der Text der Internationalen Norm ISO 9283 : 1998 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 184 „Industrial automation systems and integration“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 310 „Fortgeschrittene Fertigungstechniken“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 29283 : 1992.

Diese Europäische Norm muß den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 1998, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 1998 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 9283 : 1998 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

ANMERKUNG: Die normativen Verweisungen auf Internationale Normen sind im Anhang ZA (normativ) aufgeführt.

Anhang A dieser Internationalen Norm ist normativ.

Anhang B und C dieser Internationalen Norm sind nur zur Information.

Einleitung

ISO 9283 ist Teil einer Serie von Normen, die Industrieroboter behandeln. Andere Internationale Normen behandeln solche Themen wie Sicherheit, allgemeine Kenngrößen, Koordinatensysteme, Begriffe und mechanische Schnittstellen. Es ist zu beachten, daß diese Internationalen Normen miteinander in Beziehung stehen und auch mit anderen Internationalen Normen verbunden sind.

Mit ISO 9283 wird beabsichtigt, die Verständigung zwischen Anwendern und Herstellern von Robotern und Robotersystemen zu erleichtern. Sie legt wichtige Kenngrößen von Leistungsmerkmalen fest, beschreibt, wie diese festgelegt werden müssen, und gibt Vorschläge, wie sie geprüft werden sollten. In Anhang C dieser Internationalen Norm ist ein Beispiel enthalten, wie die Prüfergebnisse dargestellt werden sollten. Die Merkmale, für die in dieser Internationalen Norm Prüfverfahren vorgesehen sind, beeinflussen wesentlich die Leistung des Roboters.

Es ist beabsichtigt, daß der Benutzer dieser Internationalen Norm die zu prüfenden Leistungskenngrößen entsprechend seinen eigenen spezifischen Anforderungen auswählt.

Die in dieser Internationalen Norm beschriebenen Prüfungen dürfen in Abhängigkeit von der Roboterart und den Anforderungen vollständig oder zum Teil ausgeführt werden.

Der Hauptteil von ISO 9283 behandelt die Prüfung von einzelnen Leistungskenngrößen. Spezielle Angaben für Vergleichsprüfungen werden für punktbezogene und bahnbezogene Leistungskenngrößen im normativen Anhang A behandelt.

Anhang B (informativ) dieser Internationalen Norm gibt Unterstützung für die Auswahl von Prüfungen für typische Anwendungen.

Anhang C (informativ) dieser Internationalen Norm enthält ein Formblatt für den Prüfbericht, in dem die erforderlichen Mindestangaben sowie eine Zusammenfassung der Prüfergebnisse enthalten sind.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm enthält Verfahren zur Festlegung und Prüfung folgender Leistungskenngrößen von Industrierobotern:

- Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit
- Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit
- Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit
- Pose-Stabilisierungszeit
- Pose-Überschwingen
- Drift von Posekenngrößen
- Austauschbarkeit
- Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit
- Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung
- Abweichungen beim Fahren einer Ecke
- Kenngrößen der Bahngeschwindigkeit
- Mindestpositionierzeit
- Statische Nachgiebigkeit
- Abweichungen beim Pendeln.

Diese Internationale Norm legt nicht fest, welche der vorgenannten Leistungskenngrößen zum Prüfen eines bestimmten Roboters zu wählen sind. Die in dieser Internationalen Norm beschriebenen Prüfungen sind hauptsächlich darauf abgestimmt, individuelle Roboter-Festlegungen zu entwickeln und zu überprüfen, sie können aber auch als Prototyp-Prüfung, Typprüfung oder Abnahmeprüfung angewendet werden.

Um die in dieser Norm beschriebenen Leistungskenngrößen zwischen unterschiedlichen Robotern zu vergleichen, müssen folgende Angaben identisch sein: Größe des Prüfwürfels, Prüflast, Prüfgeschwindigkeiten, Prüfbahnen, Prüfzyklen, Umgebungsbedingungen.

Anhang A enthält Angaben speziell für Vergleichsprüfungen mit punktbezogenen Kenngrößen und bahnbezogenen Kenngrößen.

Diese Internationale Norm gilt für alle Industrieroboter nach der Definition in ISO 8373. Für den Zweck dieser Internationalen Norm ist die Benennung „Roboter“ gleichbedeutend mit Industrieroboter.

2 Verweisungen auf andere Normen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisungen in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder der IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 8373 : 1994

Industrieroboter – Wörterbuch

ISO 9787 : 1990

Industrieroboter – Koordinatensysteme und Bewegungsrichtungen

ISO 9946 : 1991

Industrieroboter – Darstellung charakteristischer Eigenschaften

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in ISO 8373 angegebenen Definitionen und die folgenden:

3.1 Gruppe: Menge von gemessenen Punkten, die zur Berechnung der Genauigkeits- und der Wiederholgenauigkeitskenngrößen verwendet werden (Beispiel schematisch in Bild 8 dargestellt).

3.2 Schwerpunkt: Für eine Gruppe von n Punkten, die durch ihre Koordinaten $(x_j - y_j - z_j)$ festgelegt sind, ist der Schwerpunkt dieser Gruppe von Punkten derjenige Punkt, dessen Koordinaten die Mittelwerte \bar{x} , \bar{y} und \bar{z} aufweisen, errechnet aus der in 7.2.1 angegebenen Gleichung.

3.3 Meßverweilzeit: Verzögerungszeit am Meßpunkt vor dem Aufzeichnen der Daten (z. B. Zeit zwischen dem Steuerungssignal „In Position“ und dem „Beginn der Messung“ der Meßeinrichtung).

3.4 Meßzeit: Zeit, in der Messungen vorgenommen werden.

4 Einheiten

Sofern nichts anderes festgelegt wurde, gelten folgende Dimensionen:

– Länge in Millimeter	(mm)
– Winkel in Radiant oder Grad	(rad) oder (°)
– Zeit in Sekunden	(s)
– Masse in Kilogramm	(kg)
– Kraft in Newton	(N)
– Geschwindigkeit in Meter/Sekunde	(m/s),
Grad/Sekunde	(°/s) oder
Radiant/Sekunde	(rad/s).

5 Abkürzungen und Symbole

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Abkürzungen und Symbole:

5.1 Grundsätzliche Abkürzungen

<i>A</i>	Genauigkeit
<i>R</i>	Wiederholgenauigkeit
<i>v</i>	Streuung
<i>F</i>	Schwankung
<i>d</i>	Drift
<i>P</i>	Pose
<i>D</i>	Abstand
<i>T</i>	Bahn (Kurve)
<i>V</i>	Geschwindigkeit
<i>W</i>	Pendeln
<i>E</i>	Austauschbarkeit

5.2 Größen

<i>a, b, c</i>	Orientierung (Winkelkomponenten) um die <i>x</i> -, <i>y</i> - und <i>z</i> -Achse
<i>x, y, z</i>	Linear-Koordinaten entlang der <i>x</i> -, <i>y</i> -, <i>z</i> -Achse
<i>n</i>	Anzahl der Meßzyklen
<i>m</i>	Anzahl der Meßpunkte entlang der Bahn
<i>S</i>	Standardabweichung
<i>D</i>	Abstand zwischen zwei Punkten
<i>l</i>	Abstand zwischen der Istpose und dem Schwerpunkt der Istposen
<i>v</i>	Bahngeschwindigkeit
<i>AP</i>	Pose-Genauigkeit
<i>RP</i>	Pose-Wiederholgenauigkeit
<i>vAP</i>	Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit
<i>AD</i>	Abstands-Genauigkeit
<i>RD</i>	Abstands-Wiederholgenauigkeit
<i>t</i>	Pose-Stabilisierungszeit
<i>OV</i>	Positions-Überschwingen
<i>dAP</i>	Drift der Pose-Genauigkeit
<i>dRP</i>	Drift der Pose-Wiederholgenauigkeit
<i>AT</i>	Bahn-Genauigkeit
<i>RT</i>	Bahn-Wiederholgenauigkeit
<i>CR</i>	Rundungsfehler beim Fahren einer Ecke
<i>CO</i>	Überschwingen beim Fahren einer Ecke
<i>AV</i>	Bahngeschwindigkeitsgenauigkeit
<i>RV</i>	Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit
<i>FV</i>	Bahngeschwindigkeitsschwankung
<i>WS</i>	Pendelhubfehler
<i>WF</i>	Pendelfrequenzfehler

5.3 Indizes

<i>a, b, c</i>	zeigt eine Orientierungskenngröße um die <i>x</i> -, <i>y</i> -, <i>z</i> -Achse an
<i>x, y, z</i>	zeigt eine Positionskenngröße entlang der <i>x</i> -, <i>y</i> -, <i>z</i> -Achse an
<i>c</i>	Sollwert
<i>i</i>	zeigt die <i>i</i> -te Abszisse an
<i>j</i>	zeigt den <i>j</i> -ten Zyklus an
<i>k</i>	zeigt die <i>k</i> -te Richtung an
<i>h</i>	zeigt die <i>h</i> -te Richtung an
<i>1, 2 ...</i>	zeigt die Posenummer 1, 2 ... an
<i>e</i>	Eckpunkt (Ecke)
<i>g</i>	Punkt, an dem das Roboter-Leistungsmerkmal in die festgelegte Bahnkenngröße fällt
<i>p</i>	Position

5.4 Weitere Symbole

<i>C</i> ₁ bis <i>C</i> ₈	Ecken des Prüfwürfels
<i>E</i> ₁ bis <i>E</i> ₄	Ecken der rechteckigen Ebene zur Messung von Bahnkenngrößen
<i>G</i>	Schwerpunkt einer Gruppe von Istposen
<i>O</i> _c	Ursprung der Meßsystem-Koordinaten

ANMERKUNG: Weitere Symbole werden in den entsprechenden Abschnitten erläutert.

6 Leistungskenngrößen und Prüfverfahren

6.1 Roboteraufstellung

Der Roboter ist entsprechend den Hinweisen des Herstellers aufzustellen.

6.2 Bedingungen vor der Prüfung

Der Roboter muß komplett zusammengebaut und voll funktionsfähig sein. Alle erforderlichen Justierarbeiten, Ausrichtvorgänge und Funktionsprüfungen müssen zufriedenstellend abgeschlossen sein.

Sofern vom Hersteller festgelegt, muß vor den Prüfungen ein zweckentsprechender Warmlaufbetrieb erfolgen, außer bei der Prüfung der Drift von Posekenngrößen, die aus dem Kaltzustand heraus beginnen muß.

Wenn der Roboter Einrichtungen aufweist, die vom Anwender zu justieren sind und eine der geprüften Kenngrößen beeinflussen können, oder wenn Kenngrößen nur mit bestimmten Funktionen gemessen werden können (z. B. Kalibrierungseinrichtungen für off-line-programmierte Posen), muß der während der Prüfung verwendete Zustand im Prüfbericht festgehalten und (wenn für individuelle Kenngrößen zutreffend) während der gesamten Prüfung konstant gehalten werden.

6.3 Betriebs- und Umgebungsbedingungen

Die Leistungskenngrößen, so wie sie vom Hersteller festgelegt und mittels der Prüfverfahren dieser Internationalen Norm ermittelt wurden, gelten nur unter den vom Hersteller vorgeschriebenen Umgebungs- und normalen Betriebsbedingungen.

6.3.1 Betriebsbedingungen

Die bei den Prüfungen herrschenden normalen Betriebsbedingungen müssen den vom Hersteller angegebenen entsprechen.

Normale Betriebsbedingungen umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt, Forderungen im Hinblick auf elektrische, hydraulische und pneumatische Energie, Energieschwankungen und -störungen, maximale Grenzwerte für sicheren Betrieb (siehe ISO 9946).

6.3.2 Umgebungsbedingungen

6.3.2.1 Allgemeines

Die bei den Prüfungen herrschenden Umgebungsbedingungen müssen den vom Hersteller vorgeschriebenen entsprechen, vorbehaltlich der Forderungen aus 6.3.2.2.

Umgebungsbedingungen umfassen Temperatur, relative Feuchte, elektromagnetische und elektrostatische Felder, Hochfrequenzstörungen, atmosphärische Verschmutzungen sowie Grenzhöhenlagen.

6.3.2.2 Prüftemperatur

Die Umgebungstemperatur (θ) der Prüfumgebung sollte 20 °C betragen. Andere Umgebungstemperaturen müssen im Prüfbericht angegeben und erläutert werden. Die Prüftemperatur muß eingehalten werden auf

$(\theta \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Der Roboter und die Meßgeräte müssen lange genug in der Prüfumgebung gewesen sein (vorzugsweise über Nacht), so daß sie sich vor der Prüfung im thermischen Gleichgewicht befinden. Sie müssen gegen Zugluft und externe Wärmestrahlung (z. B. Sonnenlicht, Heizgeräte) geschützt sein.

6.4 Grundsätze zur Wegmessung

Die gemessenen Positions- und Orientierungsdaten ($x_j, y_j, z_j, a_j, b_j, c_j$) müssen in einem Basiskoordinatensystem angegeben werden (siehe ISO 9787) oder in einem Koordinatensystem, das durch die Meßeinrichtung vorgegeben ist.

Wenn die Sollposen und -bahnen des Roboters in einem anderen Koordinatensystem (z. B. bei Off-line-Programmierung) als dem durch das Meßsystem vorgegebenen bestimmt sind, müssen die Daten in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert werden. Der Zusammenhang zwischen den Koordinatensystemen muß durch Messungen hergestellt werden. In diesem Fall dürfen die in 7.2.1 angegebenen Meßposen nicht als Referenzpositionen für die Transformationsdaten genutzt werden. Die Referenz- und Meßpunkte sollten innerhalb des

Prüfwürfels und soweit wie möglich voneinander entfernt liegen (z. B. wenn P_1 bis P_5 Meßpunkte sind, sollten C_3, C_4, C_5, C_6 benutzt werden).

Für richtungsbezogene Komponenten der Leistungskenngrößen muß der Zusammenhang zwischen dem Basiskoordinatensystem und dem ausgewählten Koordinatensystem im Prüfbericht vermerkt werden.

Der Meßpunkt muß den vom Hersteller vorgegebenen Abstand von der mechanischen Schnittstelle haben. Die Position dieses Punktes muß im Koordinatensystem der mechanischen Schnittstelle (siehe ISO 9787) aufgezeichnet werden (siehe Bild 7).

Beim Berechnen der Orientierungsabweichung sollte die angewendete Folge der Drehung so sein, daß stetige Orientierungsverläufe möglich sind (Navigationswinkel oder Eulerwinkel). Dies ist unabhängig davon, ob die Drehung um bewegliche Achsen oder um stationäre Achsen erfolgt.

Wenn nichts anderes festgelegt, müssen die Messungen nach der Stabilisierung der Ist-Pose ausgeführt werden.

6.5 Meßausrüstung

Bei Messungen von Bahnkenngrößen, Überschwingen und Posestabilisierung müssen die dynamischen Kenngrößen der Datenerfassungseinrichtung (z. B. Aufnahme-rate) groß genug sein, um abzusichern, daß eine angemessene Darstellung der gemessenen Kenngrößen erzielt wird.

Die für die Prüfungen verwendeten Meßgeräte müssen kalibriert sein, die Meßunsicherheit muß bewertet und im Prüfbericht angegeben werden. Folgende Parameter sollten berücksichtigt werden:

- Gerätefehler;
- systematische Fehler, die mit dem angewendeten Verfahren zusammenhängen;
- Berechnungsfehler.

Die Gesamtunsicherheit der Messung darf 25 % des Betrages der zu prüfenden Kenngrößen nicht überschreiten.

Tabelle 1: Prüflasten

Zu prüfende Kenngrößen	Einzusetzende Last	
	100 % der Nennlast (X = obligatorisch)	Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (O = optional)
Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit	X	O
Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit	X	O
Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit	X	–
Positions-Stabilisierungszeit	X	O
Positions-Überschwingen	X	O
Drift von Posekenngrößen	X	–
Austauschbarkeit	X	O
Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit	X	O
Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung	X	O
Abweichungen beim Fahren einer Ecke	X	–
Bahngeschwindigkeitskenngrößen	X	O
Mindestpositionierzeit	X	O
Statische Nachgiebigkeit	–	siehe Abschnitt 10
Abweichungen beim Pendeln	X	O

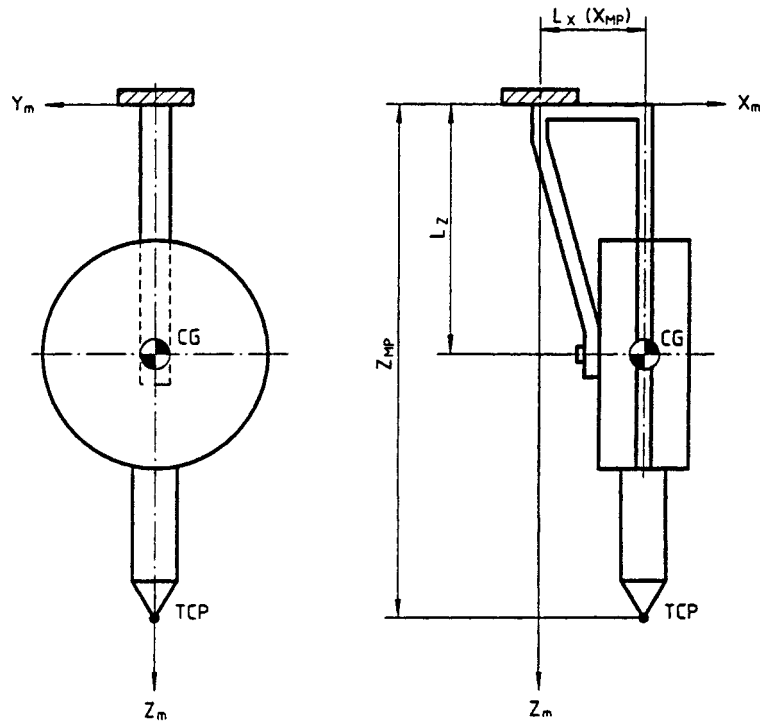


Bild 1: Ein Beispiel für einen Prüf-Endeffektor

Tabelle 2: Prüfungsgeschwindigkeiten für Posekenngrößen

Zu prüfende Kenngrößen	Geschwindigkeit	
	100 % der Nenngeschwindigkeit (X = obligatorisch)	50 % oder 10 % der Nenngeschwindigkeit (O = optional)
Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit	X	O
Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit	X	O
Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit	X	O
Positions-Stabilisierungszeit	X	O
Positions-Überschwingen	X	O
Drift von Posekenngrößen	X	–
Austauschbarkeit	X	O
Mindestpositionierzeit	siehe Abschnitt 9 und Tabelle 20	

Tabelle 3: Prüfungsgeschwindigkeiten für Bahnkenngrößen

Zu prüfende Kenngrößen	Geschwindigkeit		
	100% der Nenn- Bahngeschwindigkeit (X = obligatorisch)	50% der Nenn- Bahngeschwindigkeit (X = obligatorisch)	10% der Nenn- Bahngeschwindigkeit (X = obligatorisch)
Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit	X	X	X
Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung	X	X	X
Abweichungen beim Fahren einer Ecke	X	X	X
Bahngeschwindigkeitskenngrößen	X	X	X
Abweichungen beim Pendeln	X	X	X

6.6 Belastung der mechanischen Schnittstelle

Alle Prüfungen müssen mit einer Prüflast, die 100%ig den vom Hersteller festgelegten Nennlastbedingungen, d. h. Masse, Lage des Schwerpunkts und Trägheitsmomente, entspricht, durchgeführt werden.

Zur Charakterisierung von Robotern mit lastabhängigen Leistungsmerkmalen können zusätzlich optionale Prüfungen durchgeführt werden, wobei die Masse der Nennlast auf 10%, wie in Tabelle 1 angegeben, oder auf irgendeinen anderen, vom Hersteller festgelegten Wert reduziert wird. Wenn ein Teil der Meßausrüstung am Roboter befestigt ist, muß deren Masse und Position als Teil der Prüflast angesehen werden.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für einen Prüf-Endeffektor mit CG (Schwerpunkt) und TCP (Werkzeugmittelpunkt). Während der Prüfung ist TCP der Meßpunkt (MP). Die Lage des Meßpunkts muß im Prüfbericht angegeben werden.

6.7 Prüfungsgeschwindigkeiten

Alle Posekenngrößen sind bei der höchsten Geschwindigkeit zu prüfen, die zwischen den festgelegten Posen erreichbar ist, d. h., daß in jedem Fall die Geschwindigkeitskorrektur (Override) auf 100% einzustellen ist. Weitere Prüfungen können bei 50% und/oder 10% dieser Geschwindigkeit durchgeführt werden.

Für Bahnkenngrößen sind die Prüfungen bei 100%, 50% und 10% der vom Hersteller vorgegebenen Bahn-Nenngeschwindigkeit für jede der geprüften Kenngrößen durchzuführen (siehe Tabelle 3). Die Bahn-Nenngeschwindigkeit muß im Prüfbericht angegeben werden. Die für jede Prüfung festgelegte Geschwindigkeit hängt von Form und Länge der Bahn ab. Der Roboter muß diese Geschwindigkeit

über 50% der Prüfbahnlänge erreichen können. Die damit verbundenen Leistungskenngrößen müssen während dieser Zeit gültig sein.

Es muß dokumentiert werden, ob die Geschwindigkeit für das punktbezogene Verfahren oder das bahnbezogene Verfahren festgelegt wird, wenn dies wählbar ist.

Eine Zusammenfassung der Prüfungsgeschwindigkeiten ist in den Tabellen 2 und 3 gegeben.

6.8 Festlegungen für zu prüfende Posen und zu fahrende Bahnen

6.8.1 Zielsetzung

Dieser Abschnitt beschreibt, wie fünf geeignete Positionen in einer Ebene angeordnet werden, die in einem Würfel innerhalb des Arbeitsraumes plazierte wird. Er beschreibt auch die Prüfbahnen, die zu fahren sind. Wenn Roboter entlang einer Achse einen Bewegungsbereich haben, der im Vergleich zu anderen klein ist, ist der Würfel durch einen Quader zu ersetzen.

6.8.2 Anordnung des Würfels im Arbeitsraum

Ein einzelner Würfel, dessen Ecken mit C_1 bis C_8 (siehe Bild 2) bezeichnet sind, wird im Arbeitsraum angeordnet, wobei folgende Forderungen erfüllt sein müssen:

- der Würfel muß in dem Teil des Arbeitsraumes angeordnet sein, der voraussichtlich am meisten benutzt wird;
- der Würfel muß das größtmögliche Volumen aufweisen, das mit den Kanten parallel zum Basiskoordinatensystem untergebracht werden kann.

Im Prüfbericht muß ein Bild enthalten sein, das die Anordnung des im Arbeitsraum verwendeten Würfels darstellt.

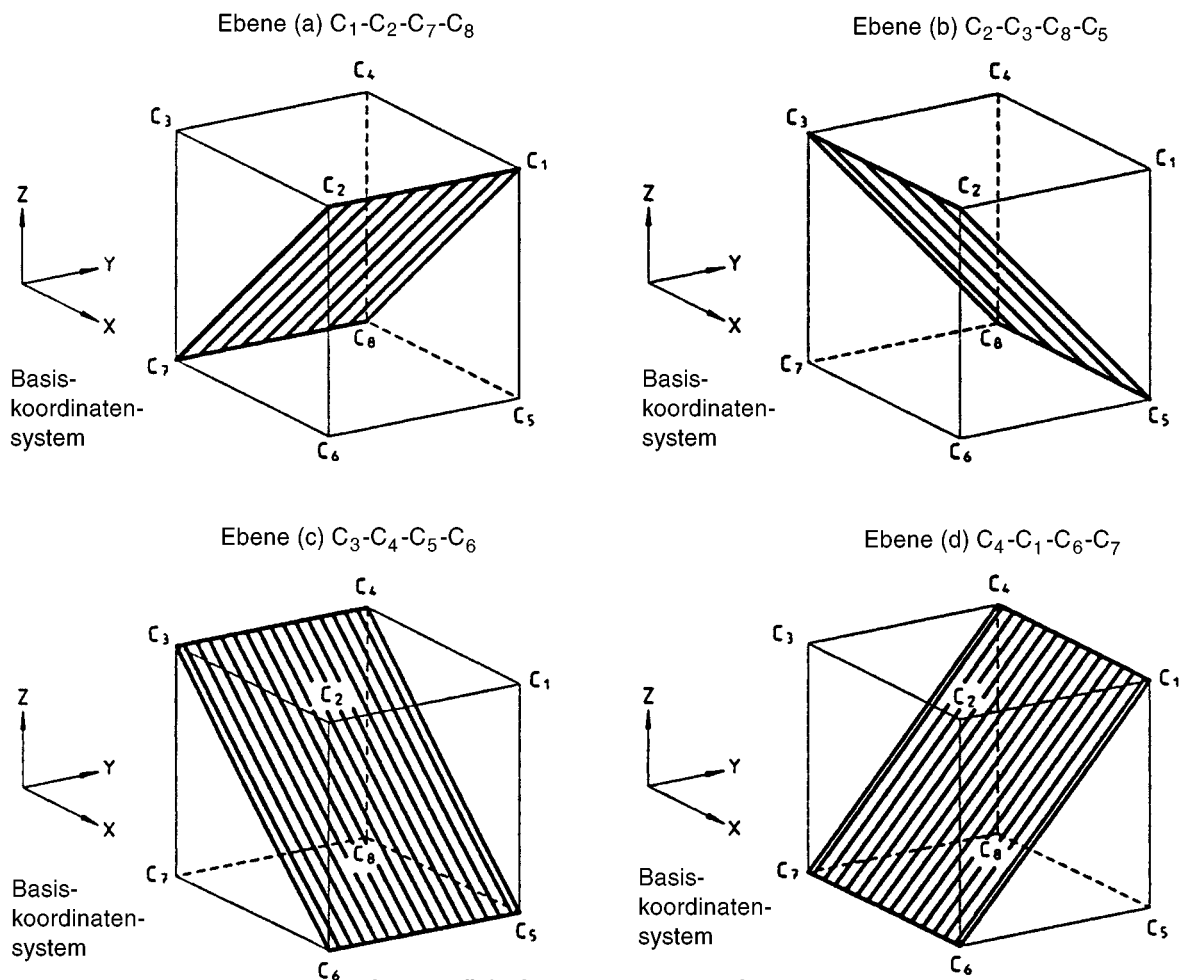


Bild 2: Würfel innerhalb des Arbeitsraumes

6.8.3 Anordnung der zu benutzenden Ebenen innerhalb des Würfels

Eine der folgenden Ebenen ist für die Pose-Prüfung zu verwenden, für die der Hersteller die Werte im Datenblatt als gültig erklärt hat:

- a) $C_1 - C_2 - C_7 - C_8$
- b) $C_2 - C_3 - C_8 - C_5$
- c) $C_3 - C_4 - C_5 - C_6$
- d) $C_4 - C_1 - C_6 - C_7$

Im Prüfbericht muß angegeben sein, welche der vier Ebenen geprüft worden ist.

6.8.4 Zu prüfende Posen

Fünf Meßpunkte sind auf der Diagonalen der Meßebeine angeordnet und entsprechen P_1 bis P_5 in der ausgewählten Ebene, umgesetzt durch den axialen (X_{MP}) und radialen (Z_{MP}) Meßpunkt-Offset. Die Punkte P_1 bis P_5 sind die Positionen für den Nebenachsen-Bezugspunkt des Roboters.

Die Meßebeine liegt parallel zur ausgewählten Ebene, siehe Bilder 3 und 7.

Die Prüf-Posen müssen in Basiskoordinaten (vorzugsweise) und/oder in Gelenkkkoordinaten angegeben sein, wie vom Hersteller festgelegt.

P_1 ist der Schnittpunkt der Diagonalen und der Mittelpunkt des Würfels. Die Punkte P_2 bis P_5 sind in einem Abstand von den Enden der Diagonalen angeordnet, der gleich $(10 \pm 2)\%$ der Länge der Diagonalen ist (siehe Bild 4). Falls das nicht möglich ist, dann ist der auf der Diagonalen zunächst liegende Punkt zu wählen und im Bericht zu vermerken.

Die für Posekenngrößen zu benutzenden Posen sind in Tabelle 4 angegeben.

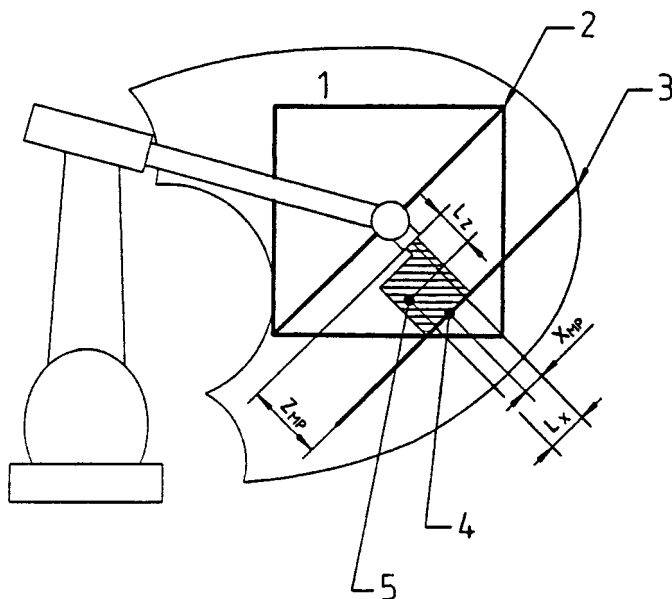
6.8.5 Anforderungen an die Bewegung

Während der Bewegung zwischen allen Posen sind alle Gelenke zu bewegen.

Es sollte darauf geachtet werden, daß während der Prüfung die Herstellerfestlegungen, entsprechend der Betriebsanleitung, nicht überschritten werden.

Tabelle 4: Für Posekenngrößen zu benutzende Posen

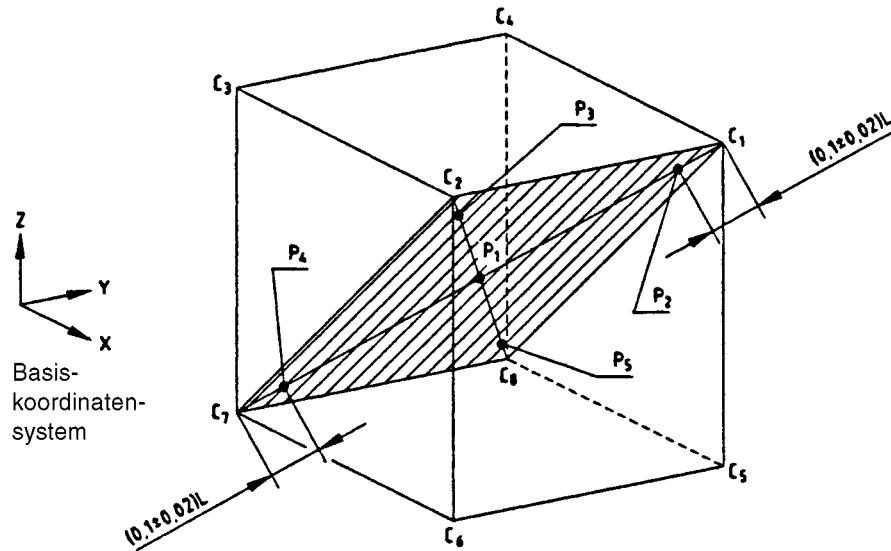
Zu prüfende Kenngrößen	Posen				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit	X	X	X	X	X
Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit	X	X	-	X	-
Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit	-	X	-	X	-
Positions-Stabilisierungszeit	X	X	X	X	X
Positions-Überschwingen	X	X	X	X	X
Drift von Posekenngrößen	X	-	-	-	-
Austauschbarkeit	X	X	X	X	X



- 1 Prüfwürfel
- 2 ausgewählte Ebene
- 3 Meßebeine
- 4 Meßpunkt (MP)
- 5 Schwerpunkt (CG)

Koordinatensystem der mechanischen Schnittstelle
MP = TCP

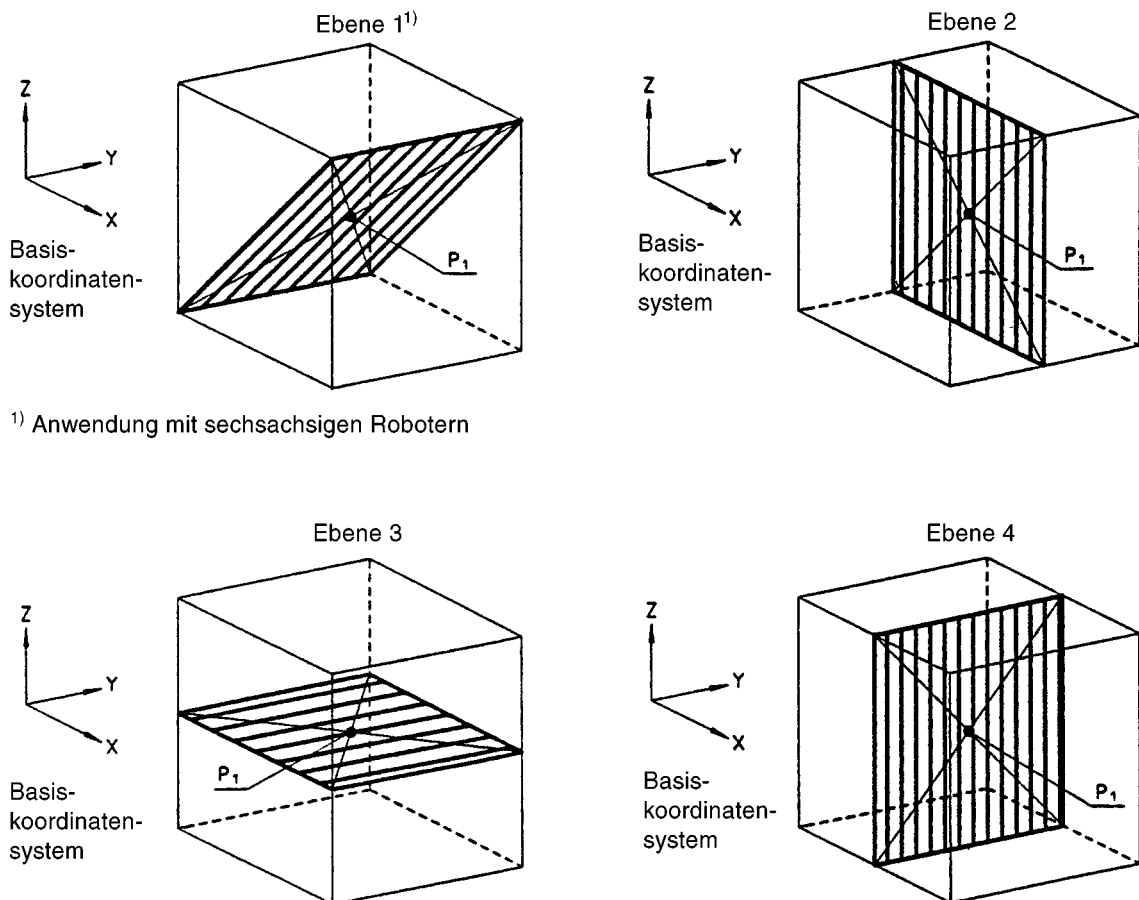
Bild 3: Ausgewählte Ebene und Meßebeine



$L = \text{Länge der Diagonalen}$

Beispiel, das die Ebene a) $C_1 - C_2 - C_7 - C_8$ mit den Posen $P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5$ darstellt

Bild 4: Zu benutzende Posen



¹⁾ Anwendung mit sechssachsigen Robotern

Bild 5: Festlegung von Ebenen zur Anordnung der Prüfbahn

6.8.6 Einzuhaltende Bahnen

6.8.6.1 Anordnung der Prüfbahn

Der in 6.8.2 beschriebene Würfel ist zu verwenden.

Die Prüfbahn muß auf einer der vier in Bild 5 dargestellten Ebenen angeordnet sein. Für Roboter mit sechs Achsen ist die Ebene 1 zu verwenden, sofern vom Hersteller nichts anderes vorgegeben ist. Für Roboter mit weniger als sechs Achsen muß die zu benutzende Ebene den Herstellerangaben entsprechen.

Während der Messung von Bahnkenngrößen sollte die Mitte der mechanischen Schnittstelle in der gewählten Ebene liegen (siehe Bild 3), und ihre Orientierung sollte konstant zu dieser Ebene gehalten werden.

6.8.6.2 Formen und Größen der Prüfbahnen

Bild 6 enthält ein Beispiel für die Position einer linearen Bahn, einer rechteckigen Bahn und zweier kreisförmiger Bahnen in einer von vier verfügbaren Prüfebene.

Die Form der Prüfbahn sollte linear oder kreisförmig sein, außer für Abweichungen beim Fahren von Ecken (siehe 8.5 und Bild 22). Wenn Bahnen anderer Formen verwendet werden, müssen diese den vom Hersteller vorgegebenen entsprechen und dem Prüfbericht beigefügt werden.

Bei einer linearen Bahn in der Diagonalen des Würfels muß die Bahnlänge 80 % des Abstandes zwischen entgegengesetzten Ecken der ausgewählten Ebene betragen. Ein Beispiel dafür ist der Abstand P_2 bis P_4 im Bild 6.

Eine andere lineare Bahn P_6 bis P_9 kann für die Prüfung der Umorientierung, beschrieben in 8.4, genutzt werden.

Bei der Prüfung einer kreisförmigen Bahn sollten zwei verschiedene Kreise geprüft werden. Siehe Bild 6.

Der Durchmesser des großen Kreises muß 80 % der Würfelseitenlänge betragen. Der Mittelpunkt des Kreises muß P_1 sein.

Der Durchmesser des kleinen Kreises sollte einen Durchmesser von 10 % des großen Kreises in der Ebene haben. Der Mittelpunkt des Kreises muß P_1 sein, siehe Bild 6.

Es muß eine Mindestanzahl von Sollposen angewendet werden. Die Anzahl und die Anordnung der Sollposen und die Art der Programmierung (Teach-in oder Eingabe

numerischer Daten durch manuelle Dateneingabe oder Off-line-Programmierung) müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Bei einer rechteckigen Bahn werden die Ecken mit E_1 , E_2 , E_3 und E_4 bezeichnet, jede davon befindet sich in einem Abstand von $(10 \pm 2) \%$ einer Diagonalenlänge von der entsprechenden Ecke entfernt. Ein Beispiel ist in Bild 6 dargestellt, wobei P_2 , P_3 , P_4 und P_5 mit E_1 , E_2 , E_3 bzw. E_4 zusammenfallen.

6.9 Anzahl der Zyklen

Die Anzahl der bei der Prüfung jeder Kenngröße auszuführenden Zyklen ist in Tabelle 5 gegeben.

6.10 Prüfverfahren

Die Reihenfolge der Prüfungen hat keinen Einfluß auf die Ergebnisse, aber es sollte die Prüfung der Positions-Stabilisierungszeit vor der Prüfung der Pose-Wiederholgenauigkeit durchgeführt werden, um die Meßverweilzeit zu ermitteln. Prüfungen des Überschwingens, der Pose-Genauigkeit und Wiederholgenauigkeit dürfen zeitgleich durchgeführt werden. Die Prüfung der Drift von Posekenngrößen muß unabhängig vorgenommen werden.

Posekenngrößen müssen mit Pose-zu-Pose- oder Bahnsteuerung geprüft werden. Bahnkenngrößen müssen mit Bahnsteuerung geprüft werden.

Die Ermittlung der Bahn-Genauigkeit/Wiederholgenauigkeit kann parallel zur Erfassung der Geschwindigkeit vorgenommen werden, vorausgesetzt, daß die Meßeinrichtung dementsprechend ausgestattet ist.

Es sollten die Geschwindigkeitsprüfungen vor der Messung der Bahn-Genauigkeit durchgeführt und identische Bahn-Parameter verwendet werden. Dies sichert den Gebrauch der richtigen Referenzgrößen bei der Ermittlung der Bahnkenngrößen.

Beim Programmieren der konstanten Bahngeschwindigkeit muß darauf geachtet werden, daß die Geschwindigkeitskorrektur auf 100 % eingestellt ist, und daß die Geschwindigkeit infolge irgendwelcher Beschränkungen des Roboters entlang der einzuhaltenden Bahn nicht automatisch reduziert wird.

Tabelle 5: Anzahl der Zyklen

Zu prüfende Kenngrößen	Anzahl der Zyklen
Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit	30
Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit	30
Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit	30
Positions-Stabilisierungszeit	3
Positions-Überschwingen	3
Drift von Posekenngrößen	8 h Dauerzyklus
Austauschbarkeit	30
Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit	10
Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung	10
Abweichungen beim Fahren einer Ecke	3
Bahngeschwindigkeitskenngrößen	10
Mindestpositionierzeit	3
Abweichungen beim Pendeln	3

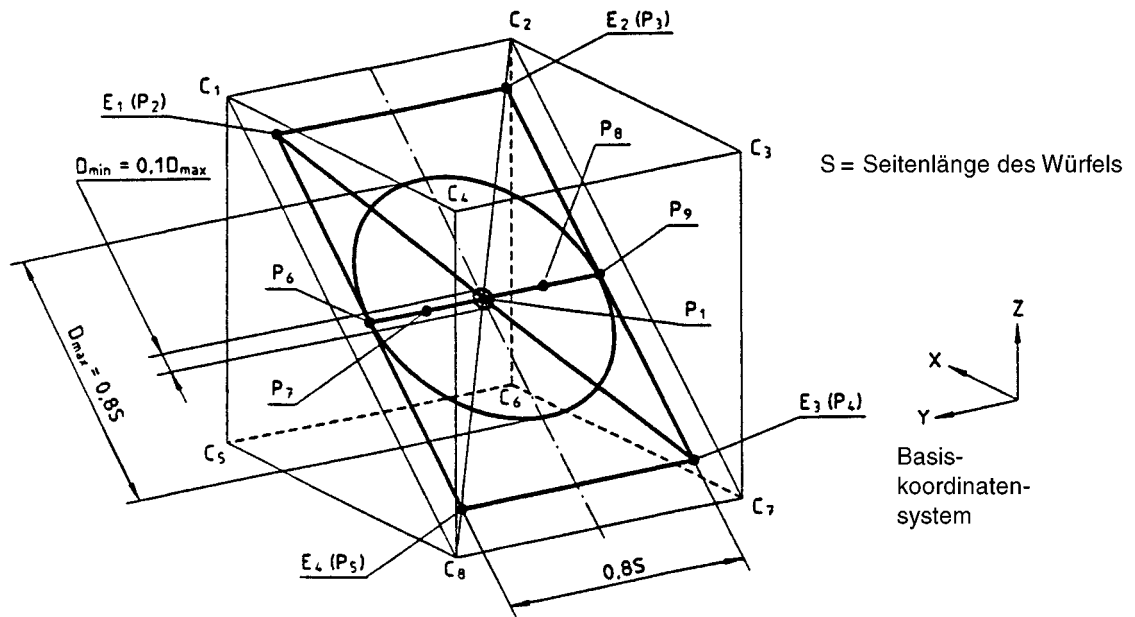


Bild 6: Beispiele für Prüfbahnen

Gleichzeitig geprüft werden können

- Bahn-Genauigkeit/Wiederholgenauigkeit und Geschwindigkeitskenngrößen;
- Überschwingen beim Fahren einer Ecke und Eckenfehler durch Verrundung.

Außer bei der Drift von Posekenngrößen muß die Datenerfassung für eine Kenngröße bei einer Einstellung der Randbedingungen innerhalb kürzester Zeit durchgeführt werden.

Alle programmierten Verzögerungen, z. B. Meßverweilzeit und Meßzeit, die für die Messungen angewendet werden, sollten im Prüfbericht angegeben werden.

6.11 Zu prüfende Kenngrößen – Anwendungen

Die in dieser Internationalen Norm beschriebenen Prüfungen können insgesamt oder teilweise angewendet werden, abhängig vom Robotertyp und den Anforderungen (Anwendung).

Anleitung für die Auswahl wesentlicher Roboterprüfungen für einige typische Anwendungen ist Anhang B zu entnehmen.

7 Posekenngrößen

7.1 Allgemeine Beschreibung

Sollpose (siehe Bild 7): Pose, die durch Teach-in-Programmierung, Eingabe numerischer Daten durch manuelle Dateneingabe oder Off-line-Programmierung bestimmt ist.

Für durch Teach-in programmierte Roboter wird die Sollpose als Meßpunkt auf dem Roboter (siehe Bild 7) festgelegt. Dieser Punkt wird während der Programmierung erreicht durch Bewegung des Roboters so nahe wie möglich hin zu den festgelegten Punkten im Würfel (P_1, P_2, \dots). Die Koordinaten, die durch das Meßsystem registriert werden, werden dann als „Sollpose“ benutzt, wenn die Genauigkeit auf der Grundlage aufeinanderfolgender Istposen berechnet wird.

Istpose (siehe Bild 7): Bei Automatikbetrieb vom Roboter als Reaktion auf die Sollpose erreichte Pose.

Kenngrößen der Pose-Genauigkeit und Wiederholgenauigkeit, so wie in diesem Abschnitt festgelegt, geben mengen-

mäßig die Differenzen an, die zwischen einer Sollpose und den Istposen auftreten, sowie die Streuung der Istposen bei einer Reihe wiederholter Einfahräufe in eine Sollpose. Diese Fehler können verursacht werden durch

- steuerunginterne Festlegungen,
- Koordinatentransformationsfehler,
- Differenzen zwischen den Maßen der Gelenkstruktur und denen im Modell des Roboter-Steuerungssystems verwendeten,
- durch mechanische Fehler, wie Spiel, Hysterese, Reibung, und äußere Einflüsse, wie z. B. Temperatur.

Die Art der Dateneingabe für die Sollpose hängt von den Einrichtungen der Robotersteuerung ab und hat signifikanten Einfluß auf die Genauigkeitskenngrößen. Das verwendete Verfahren muß deutlich im Datenblatt oder Prüfbericht angegeben sein.

Wenn die Sollpose durch numerische Dateneingabe vorgegeben ist, ist die Beziehung (d. h. Abstand und Orientierung) zwischen unterschiedlichen Sollposen bekannt (oder kann ermittelt werden) und ist für die Festlegung und Messung von den Abstandskenngrößen erforderlich (siehe 7.3).

Für die Messung der Pose-Genauigkeit unter Anwendung der numerischen Dateneingabe muß die Position des Meßsystems, bezogen auf das Basiskoordinatensystem, bekannt sein (siehe 6.8.4).

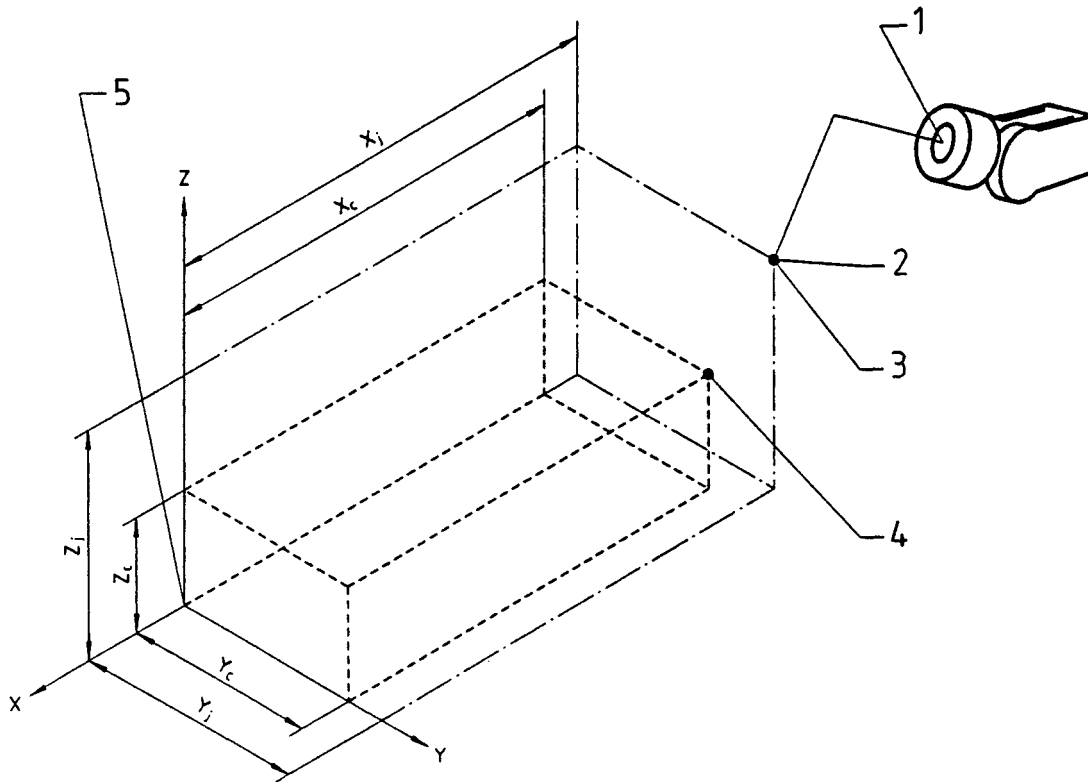
7.2 Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit

7.2.1 Pose-Genauigkeit (AP)

Die Pose-Genauigkeit gibt die Abweichung zwischen einer Sollpose und dem Mittelwert der Istposen an, die sich beim Anfahren der Sollpose aus derselben Richtung ergeben.

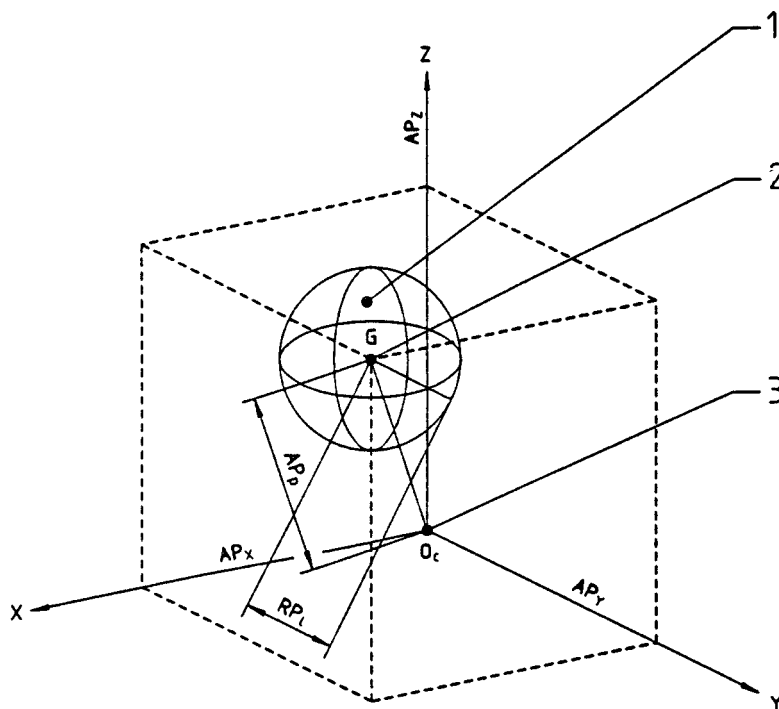
Die Pose-Genauigkeit wird unterteilt in

- a) Positionsgenauigkeit: Differenz zwischen der Position einer Sollpose und dem Schwerpunkt der Istpositionen, siehe Bild 8;
- b) Orientierungsgenauigkeit: Differenz zwischen der Orientierung einer Sollpose und dem Durchschnitt der Istorientierungen, siehe Bild 9.



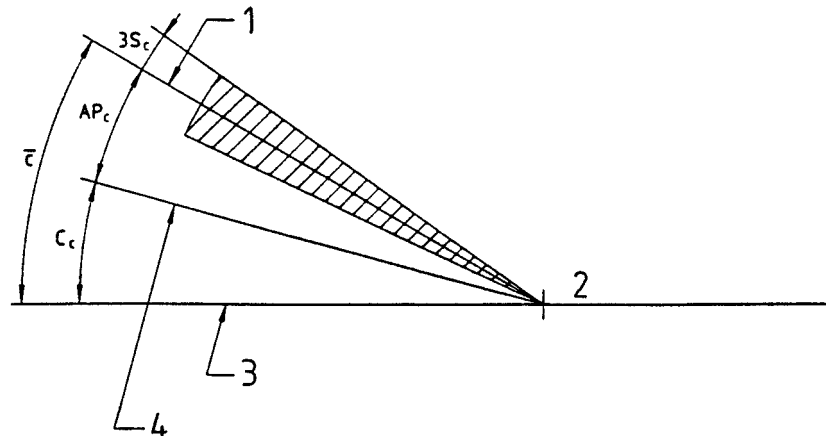
- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|
| 1 | Mitte der mechanischen Schnittstelle | 4 | Sollpose |
| 2 | Meßpunkt (Werkzeugarbeitspunkt) | 5 | Koordinatensystem parallel zum Basiskoordinatensystem |
| 3 | j -te Istpose | | |

Bild 7: Beziehung zwischen Sollpose und Istpose
 (Bilder 8 und 9 zeigen diese Beziehung ebenfalls)



- | | |
|---|---|
| 1 | Beispiel für eine Istposition |
| 2 | Position von G: \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} |
| 3 | O_c gegeben durch die Sollpose P_c |

Bild 8: Positionsgenauigkeit und -Wiederholgenauigkeit



ANMERKUNG: Das gleiche Bild kann für \bar{b} und \bar{a} angewendet werden.

- 1 Mittelwert der Istorientierungen
- 2 virtueller Projektionspunkt unterschiedlicher Positionen, nach Bild 8
- 3 Koordinatensystem
- 4 Sollorientierung

Bild 9: Orientierungsgenauigkeit und -Wiederholgenauigkeit

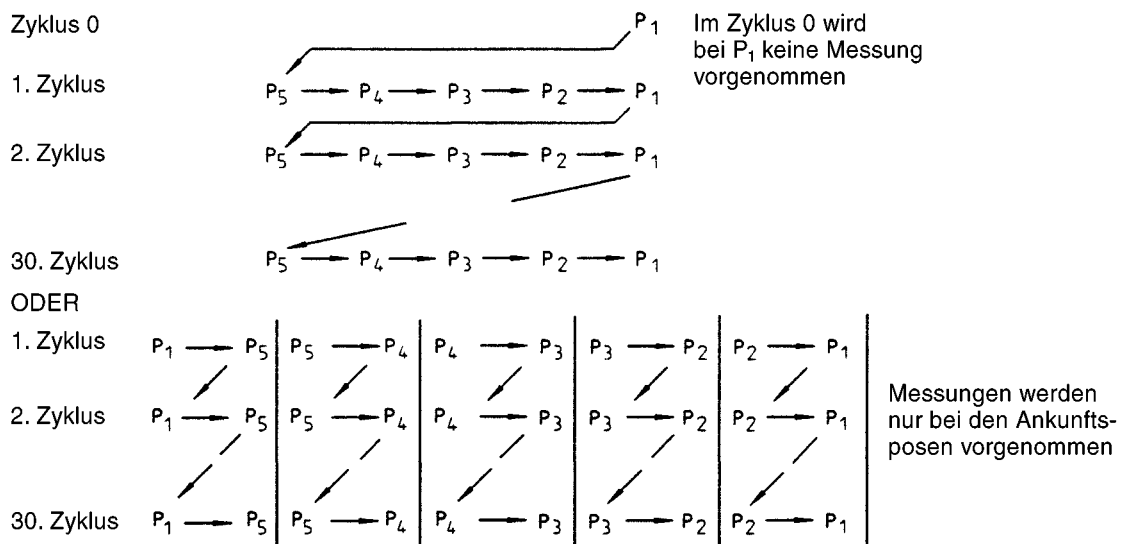


Bild 10: Darstellung möglicher Zyklen

Die Pose-Genauigkeit ist wie folgt zu berechnen:

Positionsgenauigkeit

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2}$$

$$AP_x = (\bar{x} - x_c)$$

$$AP_y = (\bar{y} - y_c)$$

$$AP_z = (\bar{z} - z_c)$$

Dabei ist:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j$$

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j$$

\bar{x} , \bar{y} und \bar{z} sind die Koordinaten des Schwerpunktes der Gruppe von Punkten, die nach n -facher Wiederholung derselben Pose erreicht werden.

x_c , y_c und z_c sind die Koordinaten der Sollpose;

x_j , y_j und z_j sind die Koordinaten der j -ten Istpose.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Pose-Genauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	$P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5$	30
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

Tabelle 7: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Pose-Wiederholgenauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	$P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5$	30
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

Orientierungsgenauigkeit

$$AP_a = (\bar{a} - a_c)$$

$$AP_b = (\bar{b} - b_c)$$

$$AP_c = (\bar{c} - c_c)$$

Dabei ist:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum a_j$$

$$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum b_j$$

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum c_j$$

Diese Werte sind die Mittelwerte der Winkel, die nach n -facher Wiederholung an derselben Pose erzielt wurden.

a_c, b_c und c_c sind die Winkel der Sollpose.
 a_j, b_j und c_j sind die Winkel der j -ten Istpose.

Tabelle 6 zeigt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Pose-Genauigkeit.

- Ausgehend von P_1 bewegt der Roboter seine mechanische Schnittstelle der Reihe nach zu den Posen P_5, P_4, P_3, P_2, P_1 . Jede der Posen sollte aus einer Richtung angefahren werden, so wie es durch die in Bild 10 dargestellten Zyklen veranschaulicht wird. Die während der Prüfung verwendeten Anfahrrichtungen müssen denen ähnlich sein, die während der Programmierung benutzt wurden.
- Für jede Pose werden Positions-Genauigkeit (AP_b) und Orientierungs-Genauigkeit (AP_a, AP_b, AP_c) berechnet.

7.2.2 Pose-Wiederholgenauigkeit (RP)

Die Pose-Wiederholgenauigkeit gibt die Exaktheit der Übereinstimmung zwischen den Istposen nach n wiederholten Anläufen zu derselben Sollpose in derselben Richtung an.

Für eine gegebene Pose wird die Wiederholgenauigkeit angegeben durch:

- den Wert RP_1 , der den Radius der Kugel darstellt, deren Mittelpunkt der Schwerpunkt ist und wie nachstehend angegeben berechnet wird (siehe Bild 8);

- die Streuung der Winkel $\pm 3S_a, \pm 3S_b, \pm 3S_c$ um die Mittelwerte \bar{a}, \bar{b} und \bar{c} , wobei S_a, S_b und S_c die Standardabweichungen sind (siehe Bild 9).

Dabei sind:

Positions-Wiederholgenauigkeit

$$RP_1 = \bar{l} + 3S_1$$

Dabei ist:

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j;$$

$$l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2}$$

Dabei ist:

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ und x_j, y_j, z_j wie in 7.2.1 festgelegt.

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n - 1}}$$

Orientierungs-Wiederholgenauigkeit

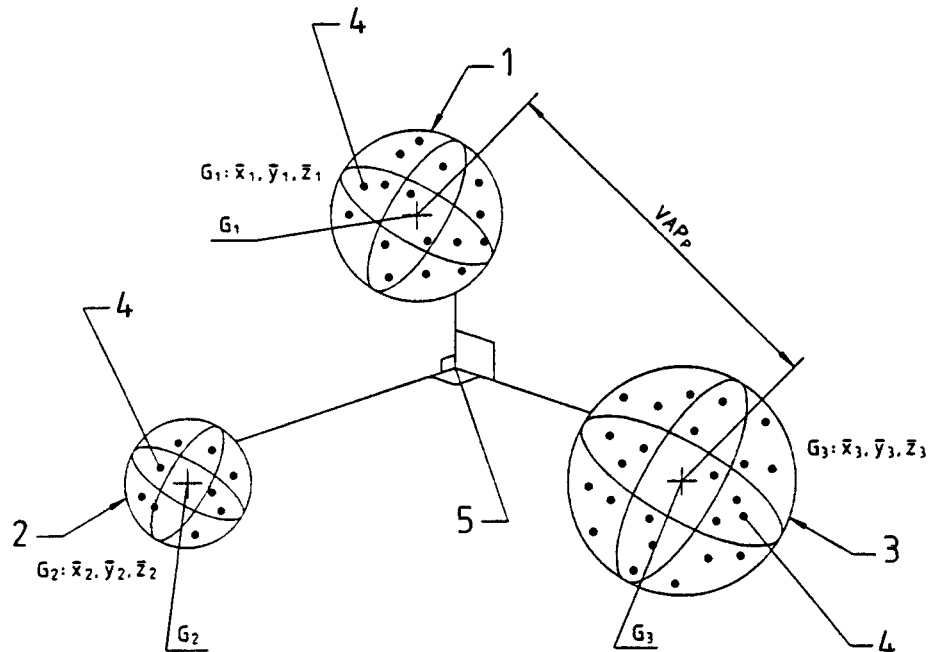
$$RP_a = \pm 3S_a = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_j - \bar{a})^2}{n - 1}}$$

$$RP_b = \pm 3S_b = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (b_j - \bar{b})^2}{n - 1}}$$

$$RP_c = \pm 3S_c = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (c_j - \bar{c})^2}{n - 1}}$$

ANMERKUNG: Diese Kenngröße kann selbst dann berechnet werden, wenn die Abstände nicht normal verteilt sind.

Tabelle 7 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Pose-Wiederholgenauigkeit.



- 1 Bahn 1
- 2 Bahn 2
- 3 Bahn 3
- 4 Istpose
- 5 Sollpose

Bild 11: Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit

Tabelle 8: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	$P_1 - P_2 - P_4$	30
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

- Das Verfahren ist das gleiche wie in 7.2.1.
- Für jede Pose werden RP und die Winkelabweichungen RP_a , RP_b und RP_c berechnet. Für spezielle Anwendungen darf RP ebenfalls durch die Komponenten RP_x , RP_y und RP_z angegeben werden.

7.2.3 Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit (vAP)

Die Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit drückt die Abweichung zwischen den verschiedenen mittleren Istposen aus, die sich ergibt, wenn dieselbe Sollpose n -mal aus drei orthogonalen Richtungen angefahren wird (siehe Bild 11).

- vAP_p ist der größte Abstand zwischen den Schwerpunkten der Gruppe derjenigen Punkte, die sich am Ende verschiedener Anfahrwege ergeben.
- vAP_a , vAP_b , vAP_c stellt die größte Abweichung vom Mittelwert der am Ende verschiedener Anfahrwege erreichten Winkel dar.

Die Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit wird wie folgt berechnet:

$$vAP_p = \max \sqrt{(\bar{x}_h - \bar{x}_k)^2 + (\bar{y}_h - \bar{y}_k)^2 + (\bar{z}_h - \bar{z}_k)^2}$$

$h, k = 1, 2, 3$

Die Anzahl der Anfahrwege ist drei.

$$vAP_a = \max |(\bar{a}_h - \bar{a}_k)| \quad h, k = 1, 2, 3$$

$$vAP_b = \max |(\bar{b}_h - \bar{b}_k)| \quad h, k = 1, 2, 3$$

$$vAP_c = \max |(\bar{c}_h - \bar{c}_k)| \quad h, k = 1, 2, 3$$

Tabelle 8 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit.

- Der Roboter ist so programmiert, daß er seine mechanische Schnittstelle zu den Posen entsprechend den drei Anfahrwegen parallel zu den Achsen des Basiskoordinatensystems führt, bei P_1 in der negativen Richtung und bei P_2 und P_4 vom Inneren des Würfel-Hauptkörpers aus (siehe Bilder 11 und 12). Wenn das nicht möglich ist, müssen die benutzten Anfahrrichtungen den Herstellerangaben entsprechen und im Bericht vermerkt werden.
- Für jede Pose werden vAP_p , vAP_a , vAP_b und vAP_c berechnet.

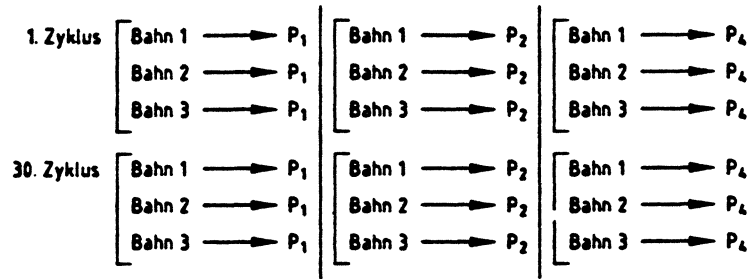


Bild 12: Darstellung des Zyklus

7.3 Abstandsgenauigkeit und -Wiederholgenauigkeit

Kenngößen nur für Roboter mit der Möglichkeit für Off-line-Programmierung oder manuelle Dateneingabe anwendbar.

7.3.1 Allgemeines

Kenngößen der Abstandsgenauigkeit und -Wiederholgenauigkeit, so wie in diesem Abschnitt festgelegt, bestimmen mengenmäßig die Abweichungen, die im Abstand zwischen zwei Sollposen und zwei Gruppen mittlerer Istposen auftreten, sowie die Streuungen in den Abständen für eine Reihe wiederholter Bewegungen zwischen den beiden Posen.

Abstandsgenauigkeit und -Wiederholgenauigkeit können gemessen werden, indem die Pose auf eine der beiden Weisen vorgegeben wird:

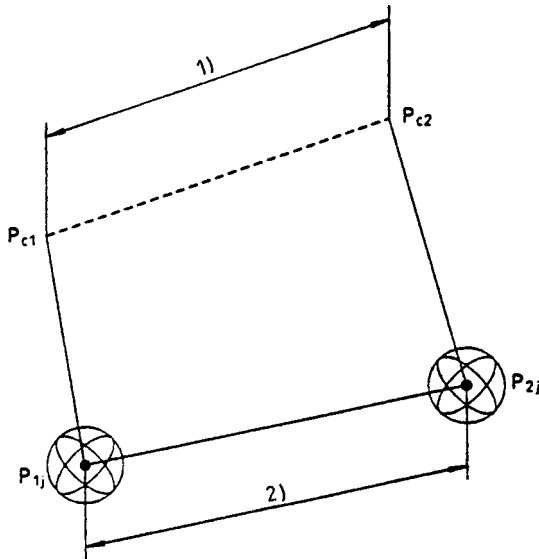
- durch Vorgabe beider Posen mittels Off-line-Programmierung;
- durch Vorgabe einer Pose mittels Teach-in-Verfahren und Programmieren eines Abstandes durch manuelle Dateneingabe

Das verwendete Verfahren ist im Bericht zu vermerken.

7.3.2 Abstandsgenauigkeit (AD)

Die Abstandsgenauigkeit gibt die Abweichung in Position und Orientierung zwischen dem Sollabstand und dem Mittelwert der Istabstände vor.

Nimmt man als gegeben an, daß die Sollpose P_{c1} und P_{c2} und die Istposen P_{1j} und P_{2j} sind, dann ist die Positions-Abstandsgenauigkeit die Differenz des Abstandes zwischen P_{c1} , P_{c2} und P_{1j} , P_{2j} (siehe Bild 13), wobei der Abstand n -mal wiederholt gefahren wird.



- Sollabstand D_c
- Mittlerer Abstand \bar{D}

Bild 13: Abstandsgenauigkeit

Die Abstandsgenauigkeit setzt sich aus Positions-Abstandsgenauigkeit und Orientierungs-Abstandsgenauigkeit zusammen.

Die Positions-Abstandsgenauigkeit AD_p wird wie folgt berechnet:

$$AD_p = \bar{D} - D_c$$

Dabei sind:

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_j$$

$$D_j = |P_{1j} - P_{2j}| = \sqrt{(x_{1j} - x_{2j})^2 + (y_{1j} - y_{2j})^2 + (z_{1j} - z_{2j})^2}$$

$$D_c = |P_{c1} - P_{c2}| = \sqrt{(x_{c1} - x_{c2})^2 + (y_{c1} - y_{c2})^2 + (z_{c1} - z_{c2})^2}$$

mit

x_{c1}, y_{c1}, z_{c1} als Koordinaten von P_{c1} , in der Robotersteuerung vorhanden

x_{c2}, y_{c2}, z_{c2} als Koordinaten von P_{c2} , in der Robotersteuerung vorhanden

x_{1j}, y_{1j}, z_{1j} als Koordinaten von P_{1j}

x_{2j}, y_{2j}, z_{2j} als Koordinaten von P_{2j}

n als Anzahl der Wiederholungen.

Die Positions-Abstandsgenauigkeit kann auch für jede Achse des Basiskoordinatensystems angegeben werden. Die Berechnung ist folgende:

$$\begin{aligned} AD_x &= \bar{D}_x - D_{cx} \\ AD_y &= \bar{D}_y - D_{cy} \\ AD_z &= \bar{D}_z - D_{cz} \end{aligned}$$

Dabei sind:

$$\bar{D}_x = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{xj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |x_{1j} - x_{2j}|$$

$$\bar{D}_y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{yj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_{1j} - y_{2j}|$$

$$\bar{D}_z = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{zj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |z_{1j} - z_{2j}|$$

$$D_{cx} = |x_{c1} - x_{c2}|$$

$$D_{cy} = |y_{c1} - y_{c2}|$$

$$D_{cz} = |z_{c1} - z_{c2}|$$

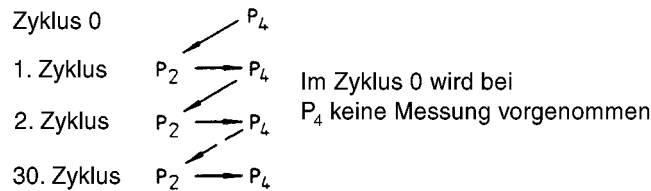


Bild 14: Darstellung des Zyklus

Tabelle 9: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Abstandsgenauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	$P_2 - P_4$	30

Die Orientierungs-Abstandsgenauigkeit wird in gleicher Weise wie die Positions-Abstandsgenauigkeit für jede Achse berechnet:

$$\begin{aligned} AD_a &= \bar{D}_a - D_{ca} \\ AD_b &= \bar{D}_b - D_{cb} \\ AD_c &= \bar{D}_c - D_{cc} \end{aligned}$$

Dabei sind:

$$\bar{D}_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{aj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |a_{1j} - a_{2j}|$$

$$\bar{D}_b = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{bj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |b_{1j} - b_{2j}|$$

$$\bar{D}_c = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{cj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |c_{1j} - c_{2j}|$$

$$D_{ca} = |a_{c1} - a_{c2}|$$

$$D_{cb} = |b_{c1} - b_{c2}|$$

$$D_{cc} = |c_{c1} - c_{c2}|$$

mit

a_{c1}, b_{c1}, c_{c1} als die Orientierungen von P_{c1} , in der Robotersteuerung vorhanden

a_{c2}, b_{c2}, c_{c2} als die Orientierungen von P_{c2} , in der Robotersteuerung vorhanden

a_{1j}, b_{1j}, c_{1j} als die Orientierungen von P_{1j}

a_{2j}, b_{2j}, c_{2j} als die Orientierungen von P_{2j}

n als Anzahl der Wiederholungen.

Tabelle 9 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Abstandsgenauigkeit.

- Der Roboter ist so programmiert, daß er seine mechanische Schnittstelle beginnend bei P_4 nacheinander zu den Posen P_2 und P_4 bewegt. Die Messungen werden in einer Richtung vorgenommen (siehe Bild 14).
- Es muß mindestens der Wert von AD_p angegeben werden.

7.3.3 Abstandswiederholgenauigkeit (RD)

Die Abstandswiederholgenauigkeit ist die Exaktheit der Übereinstimmung zwischen mehreren Istabständen für

denselben Sollabstand nach n -facher Wiederholung in derselben Richtung.

Abstandswiederholgenauigkeit umfaßt Positions- und Orientierungs-Wiederholgenauigkeit.

Die Abstandswiederholgenauigkeit für einen gegebenen Sollabstand wird wie folgt berechnet:

$$RD = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_j - \bar{D})^2}{n-1}}$$

$$RD_x = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_{xj} - \bar{D}_x)^2}{n-1}}$$

$$RD_y = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_{yj} - \bar{D}_y)^2}{n-1}}$$

$$RD_z = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_{zj} - \bar{D}_z)^2}{n-1}}$$

Für die Orientierung gilt folgende Berechnung:

$$\begin{aligned} RD_a &= \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_{aj} - \bar{D}_a)^2}{n-1}} \\ RD_b &= \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_{bj} - \bar{D}_b)^2}{n-1}} \\ RD_c &= \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_{cj} - \bar{D}_c)^2}{n-1}} \end{aligned}$$

mit den verschiedenen Variablen, wie in 7.3.2. festgelegt. Tabelle 10 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Abstandsgenauigkeit.

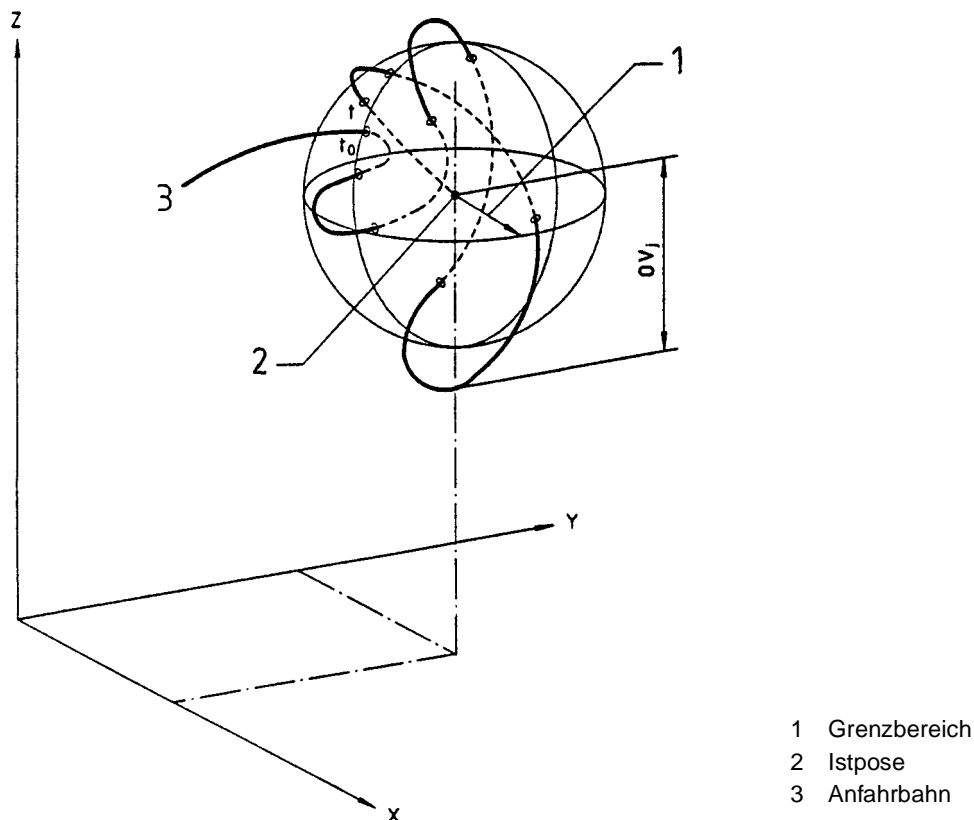


Bild 15: Stabilisierungszeit und Positions-Überschwingen, dreidimensionale Darstellung

Tabelle 10: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Abstandsgenauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	$P_2 - P_4$	30

– Das gleiche Verfahren wie in 7.3.2. Es muß mindestens der Wert von RD angegeben werden.

7.4 Positions-Stabilisierungszeit

Die Positions-Stabilisierungszeit ist eine Leistungskenngröße des Roboters, die bewertet, wie schnell der Roboter an der Istpose anhalten kann. Auf Bild 15 wird mit einer dreidimensionalen Darstellung ein Beispiel für das Erreichen der Istpose gegeben. Es muß beachtet werden, daß die Positions-Stabilisierungszeit in Beziehung zum Überschwingen und zu anderen Leistungsparametern von Robotern steht.

Die Positions-Stabilisierungszeit muß in der gleichen Weise gemessen werden wie das Überschwingen in 7.5. Der Roboter durchläuft mit Prüflast und Prüfgeschwindigkeit den gleichen Zyklus wie in 7.2.1. Nachdem der Roboter die Sollpose P_n erreicht hat, muß die Position des Meßpunktes kontinuierlich gemessen werden, bis Stabilität erreicht ist.

Die Positions-Stabilisierungszeit wird als fortlaufende Zeit gemessen von dem Zeitpunkt an, bei dem der Grenzbereich erstmals durchschritten wird, bis zu dem Zeitpunkt, ab dem der Roboter im Grenzbereich bleibt. Der

Grenzbereich wird festgelegt als Wiedergenauigkeit, wie in 7.2.2 beschrieben, oder als Grenzbereich, der vom Hersteller vorgegeben ist.

Dieses Verfahren muß dreimal wiederholt werden, für jede Pose wird der Mittelwert \bar{t} der drei Zyklen berechnet (siehe Bild 16).

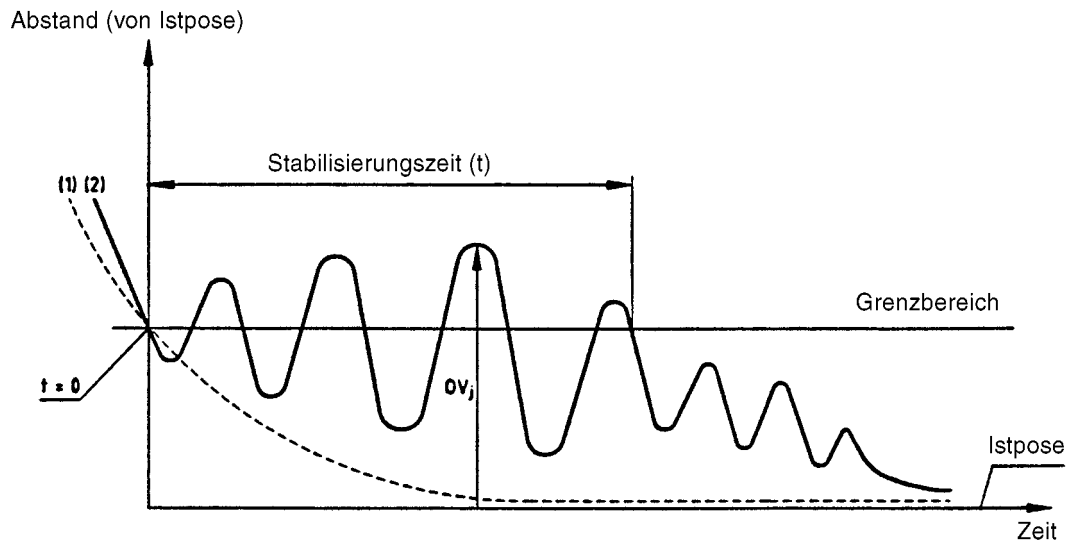
Tabelle 11 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Positions-Stabilisierungszeit.

7.5 Positions-Überschwingen

Zweck der Messung des Positions-Überschwingens ist es, die Fähigkeit des Roboters zu bewerten, wie gleichmäßig und genau er an der Istpose anhalten kann. Es muß beachtet werden, daß das Positions-Überschwingen in Beziehung zur Positions-Stabilisierungszeit steht.

Das Überschwingen wird als größter Abstand von der Istposition ab dem Zeitpunkt gemessen, bei dem der Grenzbereich erstmals beschritten wird, und wenn der Roboter den Grenzbereich wieder verläßt.

ANMERKUNG: Für Roboter, die überdämpft sind (Kurve 1 in Bild 16), ist das Überschwingen gleich Null.



Kurve (1): Beispiel für ein überdämpftes Anfahren, siehe Anmerkung
 Kurve (2): Beispiel für ein schwingendes Anfahren, wobei OV_j existiert

Bild 16: Stabilisierungszeit und Positions-Überschwingen

Tabelle 11: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Positions-Stabilisierungszeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	P_1	3
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

Tabelle 12: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für das Positions-Überschwingen

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	P_1	3
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

Zum Messen des Positions-Überschwingens durchläuft der Roboter mit Prüflast und Prüfgeschwindigkeiten den gleichen Zyklus wie in 7.2.1. Das Positions-Überschwingen ist gleich dem Überschwingabstand am Meßpunkt P_1 . Das Überschwingen muß dreimal gemessen werden, der Maximalwert der drei Zyklen ist zu berechnen (siehe Bild 16).

$$OV = \max OV_j$$

$$OV_j = \max D_{ij}, \text{ wenn } D_{ij} > \text{Grenzbereich}$$

$$= 0, \text{ wenn } D_{ij} \leq \text{Grenzbereich}$$

$$\max D_{ij} = \max \sqrt{(x_{ij} - x_j)^2 + (y_{ij} - y_j)^2 + (z_{ij} - z_j)^2}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

dabei stellt i die Anzahl der Meßwertaufnahmen dar, nachdem der Roboter den Grenzbereich erreicht hat.

Für spezielle Anwendungen darf OV auch durch die Komponenten OV_x , OV_y und OV_z angegeben werden.

Tabelle 12 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für das Positions-Überschwingen.

7.6 Drift von Posekenngrößen

Die Drift der Pose-Genauigkeit (dAP) ist die Streuung der Pose-Genauigkeit über einen festgelegten Zeitraum (T). Dies kann wie folgt berechnet werden:

$$dAP_p = |AP_{t=1} - AP_{t=T}|$$

$$dAP_a = |AP_{at=1} - AP_{at=T}|$$

$$dAP_b = |AP_{bt=1} - AP_{bt=T}|$$

$$dAP_c = |AP_{ct=1} - AP_{ct=T}|$$

dabei ist AP in 7.2.1 festgelegt, mit Bezug auf die in kaltem Zustand eingegebene Sollpose.

Die Höchstwerte sollten dokumentiert werden.

Die Drift der Pose-Wiederholgenauigkeit (dRP) ist die Streuung der Pose-Wiederholgenauigkeit über einen festgelegten Zeitraum (T). Dies kann wie folgt berechnet werden:

$$dRP_p = |RP_{t=1} - RP_{t=T}|$$

$$dRP_a = |RP_{at=1} - RP_{at=T}|$$

$$dRP_b = |RP_{bt=1} - RP_{bt=T}|$$

$$dRP_c = |RP_{ct=1} - RP_{ct=T}|$$

dabei ist RP in 7.2.2 festgelegt.

Die Höchstwerte sollten dokumentiert werden.

Tabelle 13 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Drift von Posekenngrößen.

– Driftmessungen sollten aus dem kalten Zustand heraus beginnen (unmittelbar nach Einschalten der Hauptenergie) und über mehrere Stunden bis in den Warmzustand kontinuierlich fortgesetzt werden. Der folgende Ablauf sollte eingehalten werden:

1. Programmierung des Prüfzyklus mit eingeschalteter Energie;
2. Abschalten der Energie am Roboter für 8 h;
3. Wiederanlauf des Roboters und Starten des programmierten Automatik-Zyklus.

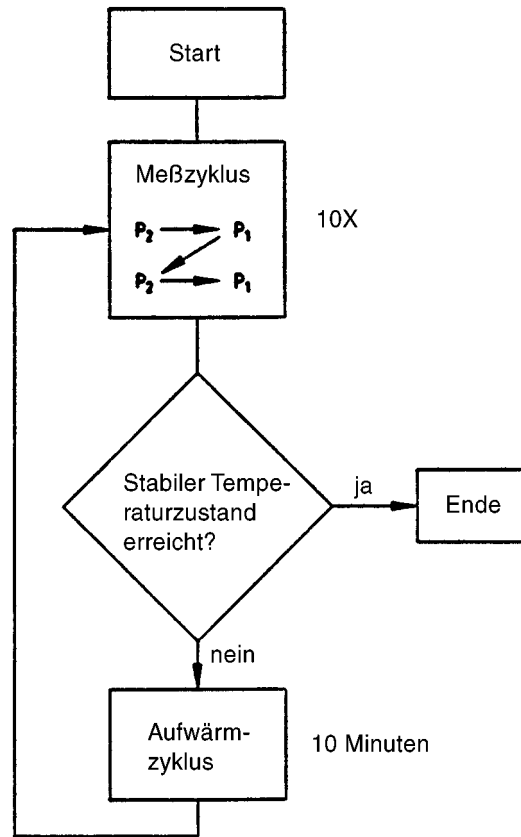


Bild 17: Darstellung der Driftmessungen

- Meßzyklus: Der Roboter ist so programmiert, daß er seine mechanische Schnittstelle, beginnend bei P_2 , nach P_1 bewegt. Bei der Rückkehr von P_1 nach P_2 sind alle Gelenke zu bewegen (10 mal).
- Aufwärmzyklus: Bei der Bewegungsfolge von P_1 nach P_2 (10mal) sind alle Gelenke mit mehr als 70 % ihrer vollen Bewegungsbereiche unter höchstmöglicher Geschwindigkeit (siehe auch Tabelle 13) zu bewegen, siehe auch Diagramm in Bild 17. Die Werte können für spezielle Anwendungen unterschiedlich ausgewählt werden.

Tabelle 13: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Drift von Posekenngrößen

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	P_1	8 h Dauerzyklus

Tabelle 14: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Austauschbarkeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen für jeden Roboter	Anzahl der Roboter
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit	$P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5$	30	5

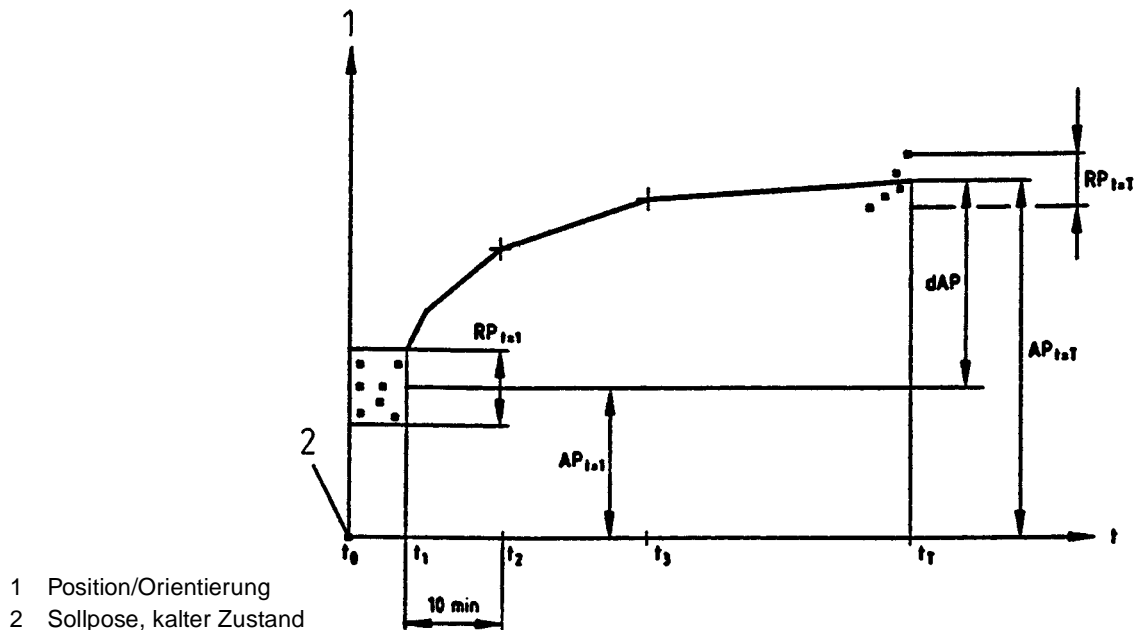


Bild 18: Drift von Posekenngrößen

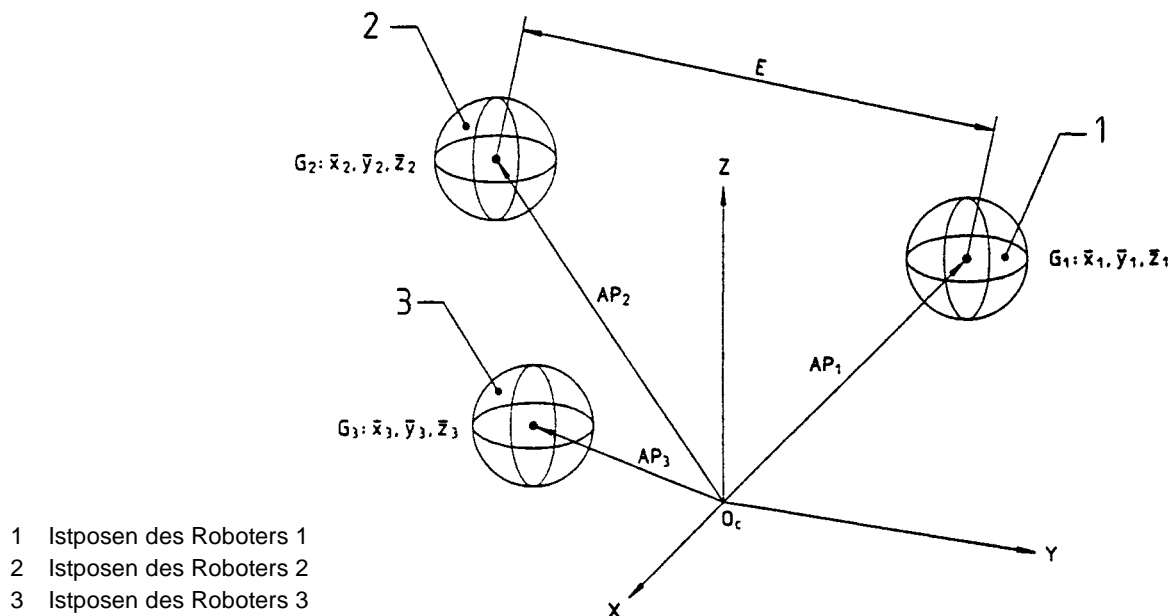


Bild 19: Austauschbarkeit

- Die Messungen dürfen vor Ablauf von 8 h beendet werden, wenn die Änderungsrate der Drift (dAP) bei fünf aufeinanderfolgenden Sätzen geringer ist als 10% der größten Änderungsrate während der ersten Stunde. Die Messungen werden verwendet, um die Pose-Genauigkeit und -Wiederholgenauigkeit (siehe 7.2.1 und 7.2.2) zu berechnen. Die Ergebnisse werden in einer graphischen Darstellung als Funktion der Zeit aufgetragen. Der Zeitraum zwischen den Meßzyklen muß 10 min betragen (Aufwärmprogramm, siehe Bilder 17 und 18).

7.7 Austauschbarkeit (E)

Die Austauschbarkeit drückt die Abweichungen der Schwerpunkte aus, wenn unterschiedliche Roboter des

gleichen Typs unter denselben Umgebungsbedingungen, mechanischen Anbringungen und der Nutzung derselben Arbeitsprogramme ausgewechselt werden.

Der E -Wert ist der Abstand zwischen den Schwerpunkten aus dieser Prüfung der zwei Roboter, die in der Prüfung die höchste Abweichung voneinander haben (siehe Bild 19). Die Austauschbarkeit ist wegen mechanischer Toleranzen, Fehlern bei der Kalibrierung der Achsen und Fehlern bei der Aufstellung der Roboter relevant.

Die Prüfposen für die Prüfung der Austauschbarkeit müssen P_1, P_2, P_3, P_4 und P_5 und für alle geprüften Roboter dieselben sein.

Die Sollposen für alle fünf Punkte müssen beim ersten Roboter festgelegt werden und dieselben für alle geprüften Roboter bleiben.

Die Prüfung muß mit 100 % der Nennlast und 100 % der Nenngeschwindigkeit ausgeführt und für fünf Roboter des gleichen Typs durchgeführt werden.

Tabelle 14 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Austauschbarkeit.

Der erste Roboter muß auf einem Befestigungssockel installiert werden, wie vom Hersteller vorgegeben. Für jeden Punkt P_1, P_2, P_3, P_4 und P_5 müssen die Schwerpunkte innerhalb desselben Referenz-Koordinatensystems berechnet werden.

Die Positions-Genauigkeit (AP_{pi}) für jeden anderen Roboter muß unter Benutzung derselben mechanischen Sockelbefestigung berechnet werden, wobei das Meßsystem unverändert bleibt und dasselbe Anwendungsprogramm genutzt wird.

Die Austauschbarkeit wird wie folgt berechnet:

$$E = \max \sqrt{(x_h - x_k)^2 + (y_h - y_k)^2 + (z_h - z_k)^2}$$

$$h, k = 1, 2, \dots, 5$$

ANMERKUNG: Die Prüfung kann, in Übereinstimmung mit den Festlegungen des Herstellers, mit derselben Robotersteuerung unter Nutzung der Kalibrierungsdaten ausgeführt werden, die für jeden Manipulator (Definition siehe ISO 8373) spezifisch sind.

8 Bahnkenngrößen

8.1 Allgemeines

Die Festlegungen für Bahn-Genauigkeit und -Wiederholgenauigkeit sind unabhängig von der Form der Sollbahn.

Bild 20 gibt eine generelle Darstellung der Bahn-Genauigkeit und -Wiederholgenauigkeit.

Die in den folgenden Unterabschnitten beschriebenen Bahnkenngrößen sind grundsätzlich für alle Programmierverfahren gültig.

8.2 Bahn-Genauigkeit (AT)

Die Bahn-Genauigkeit gibt an, wie exakt ein Roboter in der Lage ist, seine mechanische Schnittstelle entlang einer Sollbahn n -mal in derselben Richtung zu bewegen.

Die Bahn-Genauigkeit wird durch zwei Faktoren bestimmt:

- die Differenz zwischen den Positionen einer Sollbahn und der Schwerelinie der Gruppe der Positionen von Istbahnen (d.h. Positions-Bahn-Genauigkeit, AT_p , in Bild 20);
- die Differenz zwischen Sollorientierungen und dem Mittelwert der Istorientierungen (d.h. Orientierungs-Bahn-Genauigkeit).

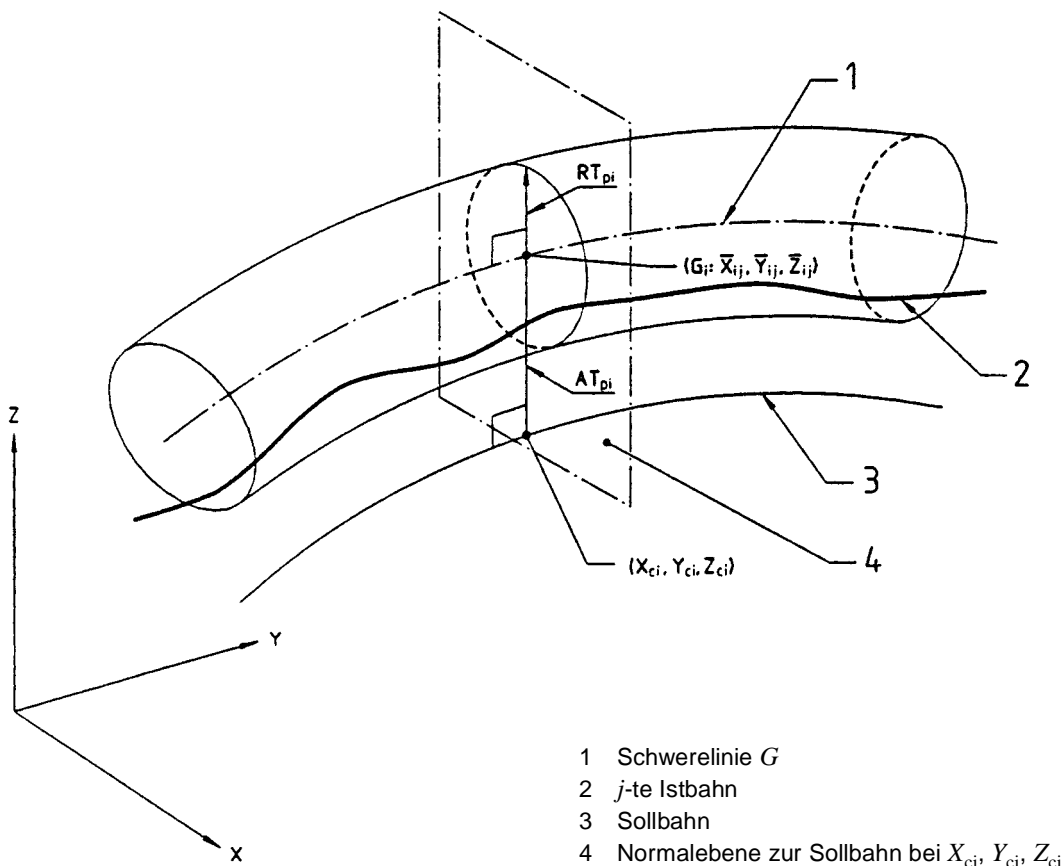
Die Bahn-Genauigkeit ist die größte Bahnabweichung in Position und Orientierung entlang der erreichten Bahn.

Die Positions-Bahn-Genauigkeit, AT_p , wird festgelegt als das Maximum der Abstände zwischen den Positionen der Sollbahn und den Schwerpunkten G_i von n Meßzyklen für jeweils eine Anzahl von berechneten Punkten (m) entlang der Bahn.

Die Positions-Bahn-Genauigkeit wird wie folgt berechnet:

$$AT_p = \max \sqrt{(\bar{x}_i - x_{ci})^2 + (\bar{y}_i - y_{ci})^2 + (\bar{z}_i - z_{ci})^2}$$

$$i = 1 \dots m$$



- 1 Schwerelinie G
- 2 j -te Istbahn
- 3 Sollbahn
- 4 Normalebene zur Sollbahn bei X_{ci}, Y_{ci}, Z_{ci}

Bild 20: Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit für eine Sollbahn

Tabelle 15: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Bahn-Genauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Form der Bahn	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	lineare Bahn $E_1 - E_3$ runde Bahnen große und kleine Kreise siehe 6.8.6.2 und Bild 6	10
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

Dabei sind:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad \bar{z}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{ij}$$

Bei der Berechnung von AT_p sollte folgendes beachtet werden:

- Die Anzahl der auszuwählenden Meßpunkte und der zugehörigen Normalebenen entlang der Sollbahn ist von der Form der Sollbahn und der Prüfgeschwindigkeit abhängig. Die ausgewählte Zahl der Normalebenen muß im Prüfbericht angegeben werden.
- x_{ci} , y_{ci} und z_{ci} sind die Koordinaten des i -ten Punktes auf der Sollbahn.
- x_{ij} , y_{ij} und z_{ij} sind die Schnittpunktkoordinaten der j -ten Istbahn und der i -ten Normalebene.

Die Orientierungs-Bahn-Genauigkeiten AT_a , AT_b und AT_c werden als Größtabweichung von den Sollorientierungen entlang der Bahn festgelegt.

$AT_a = \max \bar{a}_i - a_{ci} $	$i = 1 \dots m$
$AT_b = \max \bar{b}_i - b_{ci} $	$i = 1 \dots m$
$AT_c = \max \bar{c}_i - c_{ci} $	$i = 1 \dots m$

Dabei sind:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad \bar{b}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad \bar{c}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}$$

a_{ci} , b_{ci} und c_{ci} sind die Sollorientierungen am Punkt (x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) .

a_{ij} , b_{ij} und c_{ij} sind die Istorientierungen am Punkt (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) .

Tabelle 15 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Bahn-Genauigkeit.

Während die Berechnung der Bahn-Genauigkeit auf Ebenen durchgeführt wird, die rechtwinklig zur Sollbahn liegen, dürfen die Messungen der Istbahn entweder als eine Funktion der Zeit oder des Abstandes durchgeführt werden.

Die programmierten Start- und Endpunkte des Zyklus müssen außerhalb der ausgewählten Prüfbahn liegen.

8.3 Bahn-Wiederholgenauigkeit (RT)

Die Bahn-Wiederholgenauigkeit gibt die Exaktheit der Übereinstimmung zwischen den Istbahnen für dieselbe n -mal wiederholte Sollbahn an.

Bei einer n -mal in derselben Richtung durchfahrenen Bahn wird die Bahn-Wiederholgenauigkeit angegeben durch

- RT_p als Maximalwert von RT_{pi} , der gleich dem Radius eines Kreises in der Normalebene ist, dessen Mittelpunkt auf der Schwerelinie liegt (siehe Bild 20),
- die größte Streuung der Winkel um den Mittelwert bei verschiedenen berechneten Punkten.

Die Bahn-Wiederholgenauigkeit wird wie folgt berechnet:

$$RT_p = \max RT_{pi} = \max [\bar{l}_i + 3S_{li}] \quad i = 1 \dots m$$

Dabei sind:

$$\bar{l}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_{ij}$$

$$S_{li} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_{ij} - \bar{l}_i)^2}{n-1}}$$

$$l_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2 + (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 + (z_{ij} - \bar{z}_i)^2}$$

mit x_i , y_i , z_i , x_{ij} , y_{ij} und z_{ij} wie in 8.2 festgelegt.

$$RT_a = \max 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_i)^2}{n-1}} \quad i = 1 \dots m$$

$$RT_b = \max 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - \bar{b}_i)^2}{n-1}} \quad i = 1 \dots m$$

$$RT_c = \max 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - \bar{c}_i)^2}{n-1}} \quad i = 1 \dots m$$

mit \bar{a}_i , \bar{b}_i , \bar{c}_i , a_{ij} , b_{ij} und c_{ij} wie in 8.2 festgelegt.

Die Bahn-Wiederholgenauigkeit muß unter Anwendung desselben Prüfverfahrens wie für die Messung der Bahn-Genauigkeit gemessen werden.

Für spezielle Anwendungen darf RT auch durch die Komponenten RT_x , RT_y und RT_z angegeben werden.

8.4 Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung

Um den Einfluß dreidimensionaler Orientierungsänderungen für eine lineare Bahn in einer einfachen Weise aufzuzeichnen, d. h. nur mit Messung der Positions-Bahn-Genauigkeit (AT_p), muß die folgende Prüfung, wie auf Bild 21 dargestellt, angewendet werden.

a) Festlegung der Orientierungsänderung um Y_n

- B_n -Winkel bei P_6 (Start): $+30^\circ$
- B_n -Winkel von P_6 nach P_1 : -30°
- B_n -Winkel von P_1 nach P_9 : $+30^\circ$

b) Festlegung der Orientierungsänderung um X_n und Z_n

- A_n -Winkel bei P_6 (Start): $+30^\circ$
- A_n -Winkel von P_6 nach P_7 : 0°
- C_n -Winkel von P_7 nach P_1 : -30°
- C_n -Winkel von P_1 nach P_8 : 0°
- A_n -Winkel von P_8 nach P_9 : -30°

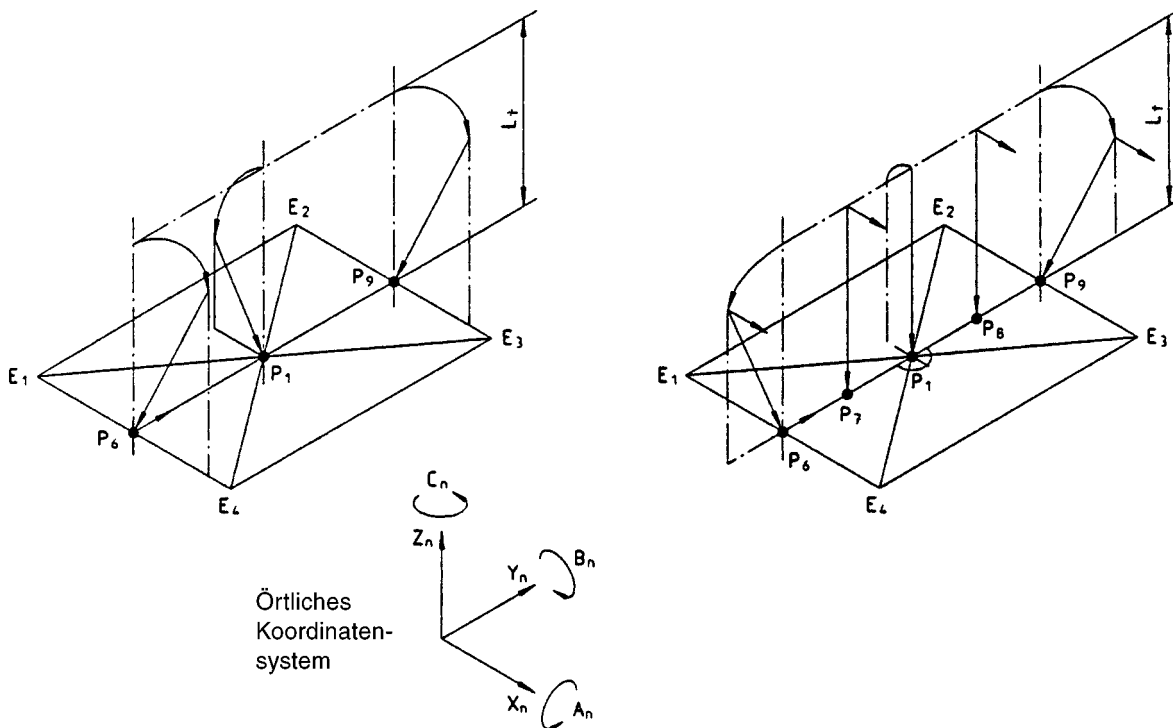


Bild 21: Festlegung von Orientierungsänderungen a) um die Y_n -Achse, b) um die X_n - und Z_n -Achse

Tabelle 16: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung

Last	Geschwindigkeit	Form der Bahn	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	lineare Bahn $P_6 - P_9$ Siehe 8.4, Bilder 6 und 21	10
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit		

In der Prüfebene $E_1 \dots E_4$ nach Bild 4 werden zusätzliche Punkte $P_6 \dots P_9$ mit gleichen Abständen voneinander markiert, wie in Bild 6 festgelegt. Ein lokales Koordinatensystem muß für die Festlegung der Orientierungen vereinbart werden, mit der $X_n Y_n$ -Ebene parallel zur ausgewählten Ebene $E_1 \dots E_4$ und der linearen Bahn $P_6 \dots P_9$ parallel zur Y_n -Achse.

Die Bahn muß mit konstanter Geschwindigkeit im Werkzeugarbeitspunkt TCP vom Startpunkt P_6 nach P_9 und zurück von P_9 nach P_6 gefahren werden. Die Orientierung muß fortlaufend in den in Bild 21 beschriebenen Bereichen erfolgen, ohne an den Punkten $P_6 \dots P_9$ anzuhalten. Die Geschwindigkeit und Last müssen in Übereinstimmung mit 8.2 sein, siehe auch Tabelle 16.

Die Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung muß mit einem ähnlichen Verfahren wie die Bahn-Genauigkeit nach 8.2 berechnet werden.

Tabelle 16 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung.

8.5 Abweichungen beim Fahren einer Ecke

Abweichungen beim Fahren einer Ecke können eingeteilt werden in zwei grundlegende Arten:

- scharfe Ecken;
- runde Ecken.

Um scharfe Ecken zu fahren, müssen Änderungen der Geschwindigkeit zugelassen werden, um präzise Kontrolle der Bahn beizubehalten. Dies führt üblicherweise zu

Ergebnissen mit hohen Geschwindigkeitsschwankungen. Um konstante Geschwindigkeiten beizubehalten, ist eine Rundung der Ecken erforderlich.

Scharfe Ecken treten auf, wenn der Roboter von der ersten Bahn ohne Verzögerungszeit und mit programmierter konstanter Bahngeschwindigkeit zu der zweiten Bahn bewegt wird, die rechtwinklig zur ersten liegt.

Die Geschwindigkeitsänderung an den Ecken hängt von der Art des Steuerungssystems ab und muß beschrieben werden. (In bestimmten Fällen kann die Verminderung bei nahezu 100% der angewendeten Prüfgeschwindigkeit liegen.) Runde Ecken werden genutzt, um ein erhebliches Überschwingen zu vermeiden und die mechanische Spannung in sicheren Grenzen zu halten. Abhängig vom Steuerungssystem sind diskrete Bahnen, wie Radius- oder Spline-Funktionen (Verrundungsverfahren), programmierbar oder werden automatisch benutzt. In diesem Fall ist eine Reduzierung der Geschwindigkeit unerwünscht und, wenn nicht anders angegeben, begrenzt auf 5% der angewendeten Prüfgeschwindigkeit.

Wenn ein Verrundungsverfahren in der Programmierung enthalten ist, muß dies im Prüfbericht angegeben werden.

8.5.1 Verrundungsfehler beim Fahren einer Ecke (CR)

Der Verrundungsfehler beim Fahren einer Ecke wird als Größtwert festgelegt, der aus drei aufeinanderfolgenden Meßzyklen berechnet wird. Für jeden Zyklus wird der kleinste Abstand zwischen dem Eckpunkt (x_e, y_e, z_e in Bild 22) und der Istbahn wie folgt berechnet:

$$CR = \max CR_j \quad j = 1, 2, 3$$

$$CR_j = \min \sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2 + (z_i - z_e)^2} \\ i = 1 \dots m$$

Dabei sind:

x_e, y_e, z_e die Koordinaten des Soll-Eckpunktes;

x_i, y_i, z_i die Koordinaten des Soll-Eckpunktes auf der Istbahn, entsprechend dem Meßpunkt i .

8.5.2 Überschwingen beim Fahren einer Ecke (CO)

Das Überschwingen beim Fahren einer Ecke wird als Größtwert festgelegt, ermittelt aus drei aufeinanderfolgenden Meßzyklen. Für jeden Zyklus wird die Größtabweichung von der Sollbahn gemessen, nachdem der Roboter auf der zweiten Bahn ohne Zeitverzögerung und mit programmierter konstanter Bahngeschwindigkeit gestartet ist.

Wenn die zweite Sollbahn als die Z-Achse festgelegt ist und die erste Sollbahn in negativer Y-Richtung verläuft, wird das Überschwingen beim Fahren einer Ecke wie folgt berechnet:

$$CO = \max CO_j \quad j = 1, 2, 3$$

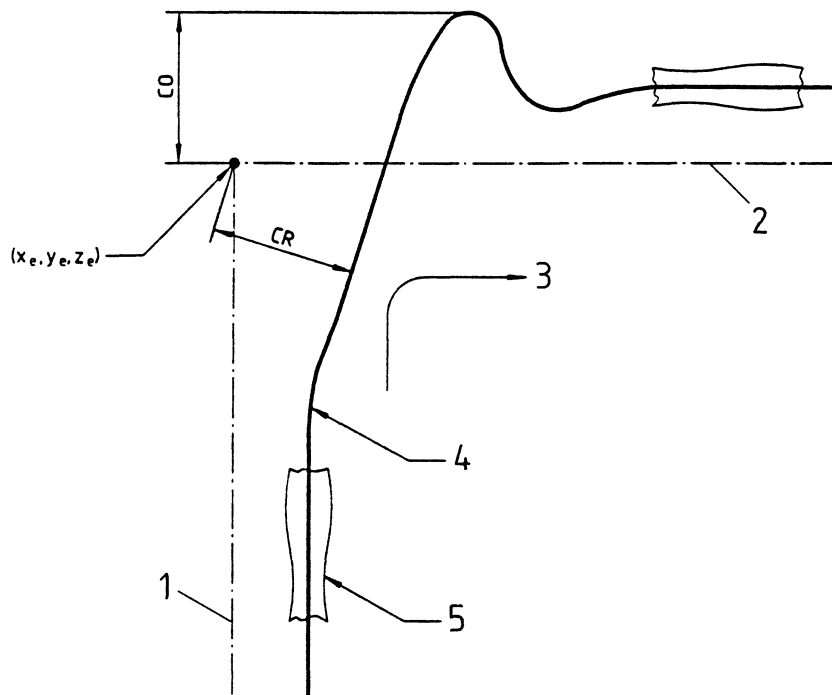
$$CO_j = \max \sqrt{(x_i - x_{ci})^2 + (y_i - y_{ci})^2} \quad i = 1 \dots m$$

Dabei sind:

x_{ci} und y_{ci} die Koordinaten des Punktes auf der Sollbahn, entsprechend dem Meßpunkt z_{ci} ;

x_i und y_i die Koordinaten des Punktes auf der Istbahn, entsprechend dem Meßpunkt z_i .

Diese Gleichung ist nur dann gültig, wenn $(y_i - y_{ci})$ einen positiven Wert hat. Wenn $(y_i - y_{ci})$ einen negativen Wert hat, besteht kein Überschwingen beim Fahren der Ecke.



- 1 Erste Sollbahn
- 2 Zweite Sollbahn
- 3 Fahrtrichtung
- 4 Istbahn
- 5 Wiederholgenauigkeits-Kanal ähnlich Figur 20

Bild 22: Überschwingen und Verrundungsfehler beim Fahren einer scharfen Ecke

Tabelle 17: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für Abweichungen beim Fahren einer Ecke

Last	Geschwindigkeit	Ecken	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	$E_1 - E_2 - E_3 - E_4$ (siehe Bild 6 in 6.8.6.2)	3

Tabelle 18: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für Bahngeschwindigkeitskenngrößen

Last	Geschwindigkeit	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	10
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit 50 % der Nenngeschwindigkeit 10 % der Nenngeschwindigkeit	10

8.5.3 Generelle Prüfbedingungen

Tabelle 17 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für Abweichungen beim Fahren einer Ecke.

Die Startposition muß auf halbem Weg zwischen E_1 und E_4 liegen. Alle vier Ecken müssen gemessen werden. Eine kontinuierliche Bahnprogrammierung muß zur Vorgabe der rechteckigen Bahn angewendet werden. Jede automatische Reduzierung der Geschwindigkeit beim Durchlaufen der Bahn muß so, wie vom Hersteller festgelegt, ausgeführt und im Prüfbericht festgehalten werden.

Sofern nicht anders festgelegt, ist die Orientierung orthogonal zur Ebene der rechteckigen Bahn.

Das Überschwingen beim Fahren einer Ecke kann aus der Messung der Abweichung von der Soll-Bahn und jeder gemessenen Bahn berechnet werden. Um die Werte der Soll-Bahn zu erhalten, können die Positionen der Eckpunkte entweder bei der Eingabe im Falle der Teach-in-Programmierung gemessen werden oder ist im Fall der manuellen Dateneingabe bekannt.

Beide Kenngrößen CR und CO müssen in derselben Meßreihenfolge gemessen werden. Jede alternative Programmierung (z. B. scharfe Ecke, Verrundungsverfahren) muß erwähnt werden.

8.6 Bahngeschwindigkeitskenngrößen

8.6.1 Allgemeine Beschreibung

Die Kenngrößen für Leistungsmerkmale eines Roboters hinsichtlich der Bahngeschwindigkeit werden in drei Kenngrößen unterteilt. Dies sind die

- Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit (AV);
- Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit (RV);
- Bahngeschwindigkeits-Schwankung (FV).

Eine idealisierte Darstellung dieser Kenngrößen ist in Bild 23 dargestellt.

Tabelle 18 gibt eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für Bahngeschwindigkeitskenngrößen.

In den Fällen, in denen deutliche Geschwindigkeitschwankungen entlang einer Bahn auftreten, müssen sich wiederholte Messungen, die als Funktion der Zeit aufgenommen werden, auf die gleichen Raumpunkte entlang der Soll-Bahn beziehen.

Die Messungen müssen während des stabilen Geschwindigkeitszustands im mittleren Teil der Prüf-Bahnlänge und bei 50 % der Länge durchgeführt werden.

Bahngeschwindigkeitskenngrößen werden an der gleichen geradlinigen Bahn geprüft, wie sie auch bei der Prüfung

der Bahn-Genauigkeit angewendet wird (siehe 8.2). AV , RV und FV werden mit $n = 10$ berechnet.

8.6.2 Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit (AV)

Die Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit wird festgelegt als Fehler zwischen der Sollgeschwindigkeit und dem Mittelwert der Istgeschwindigkeiten, die sich bei n -mal wiederholten Bahndurchläufen ergeben haben, und wird als Prozentwert der Sollgeschwindigkeit angegeben. Die Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit wird wie folgt berechnet:

$$AV = \frac{\bar{v} - v_c}{v_c} \times 100$$

Dabei sind:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{v}_j$$

$$\bar{v}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{v}_{ij}$$

Dabei sind:

v_c die Sollgeschwindigkeit;

v_{ij} die Istgeschwindigkeit bei der i -ten Messung und j -ten Wiederholung;

m die Anzahl der Messungen entlang der Bahn.

8.6.3 Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit (RV)

Die Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit ist ein Maß für die Exaktheit der Übereinstimmung der Istgeschwindigkeiten bei derselben Sollgeschwindigkeit.

Sofern nicht anders festgelegt, muß die Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit als ein Prozentwert der Sollgeschwindigkeit angegeben werden.

$$RV = \pm \left(\frac{3S_v}{v_c} \times 100 \right)$$

Dabei ist:

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{v}_j - \bar{v})^2}{n-1}}$$

mit v_c , \bar{v}_j und \bar{v} wie in 8.6.2 festgelegt.

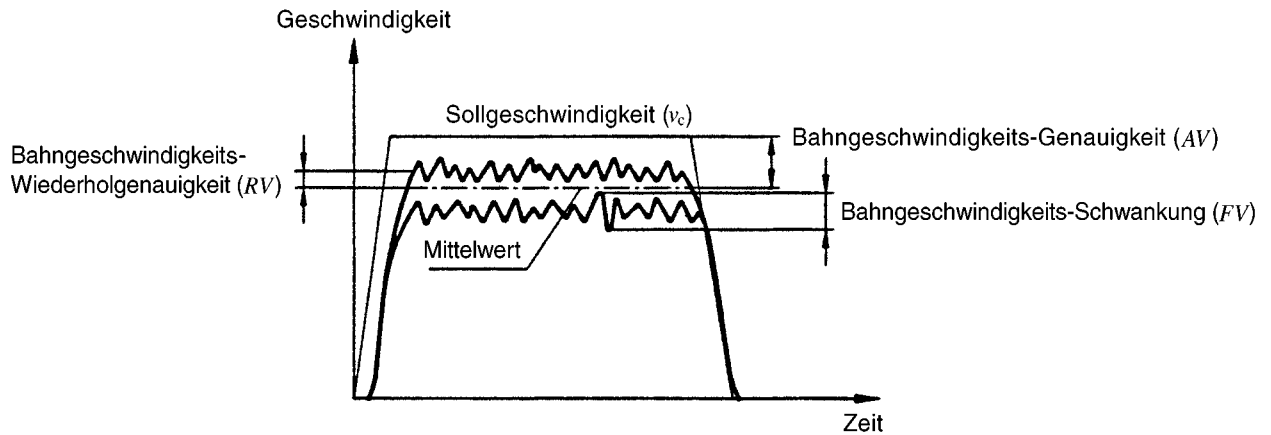


Bild 23: Bahngeschwindigkeitskenngrößen

Tabelle 19: Posen und Abstände für die Mindestpositionierzeit

Posen	P_1	P_{1+1}	P_{1+2}	P_{1+3}	P_{1+4}	P_{1+5}	P_{1+6}	P_{1+7}
Abstand von der vorherigen Pose ($D_x = D_y = D_z$)	0	-10	+20	-50	+100	-200	+500	-1 000

Tabelle 20: Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Mindestpositionierzeit

Last	Geschwindigkeit	Posen	Anzahl der Zyklen
100 % der Nennlast	100 % der Nenngeschwindigkeit optimierte Geschwindigkeiten	$P_1 - P_{1+1} - P_{1+2} - P_{1+3} - P_{1+4} - P_{1+5} - P_{1+6} - P_{1+7}$	3
Masse der auf 10 % reduzierten Nennlast (optional)	100 % der Nenngeschwindigkeit optimierte Geschwindigkeiten	(siehe Tabelle 19)	3

Die Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit muß unter Anwendung desselben Prüfverfahrens gemessen werden, das für die Messung der Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit angewendet wurde.

8.6.4 Bahngeschwindigkeits-Schwankung (FV)

Die Bahngeschwindigkeits-Schwankung ist die Höchstgeschwindigkeitsabweichung während einer Wiederholung mit einer Sollgeschwindigkeit.

Die Bahngeschwindigkeits-Schwankung ist festgelegt als die Höchstgeschwindigkeitsschwankung bei jeder Wiederholung.

$$FV = \max \left[\max_{i=1}^m (v_{ij}) - \min_{i=1}^m (v_{ij}) \right] \quad j = 1 \dots n$$

mit v_{ij} wie in 8.6.2 festgelegt.

Die Bahngeschwindigkeits-Schwankung muß unter Anwendung desselben Prüfverfahrens gemessen werden, wie es für die Messung der Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit angewendet wurde.

9 Mindestpositionierzeit

Die Positionierzeit ist die Zeit zwischen dem Verlassen eines und dem Erreichen eines anderen stationären Zustandes beim Durchqueren einer vorher bestimmten Strecke und/oder beim Überstreichen eines vorher bestimmten Winkels bei Pose-zu-Pose-Steuerung. Die Zeit, die für einen Roboter benötigt wird, um sich bei der Istpose, wie in 7.4 festgelegt, zu stabilisieren, ist in der Gesamt-Positionierzeit enthalten.

Sofern nicht anders festgelegt, muß der Roboter geeignet sein, die festgelegten Kenngrößen der Pose-Genauigkeit und -Wiederholgenauigkeit zu erreichen, wenn er zwischen den Prüfposen in der festgelegten Mindestpositionierzeit Bewegungen durchführt.

Die Positionierzeit ist eine nichtlineare Funktion der zurückgelegten Strecke.

ANMERKUNG: Die Positionierzeit eines Roboters trägt mit zur Ermittlung der Zykluszeit bei, ist jedoch nicht der einzige damit zusammenhängende Faktor. Demzufolge können die Ergebnisse der Messungen der Positionierzeit verwendet werden, um eine Aussage zur Zykluszeit zu machen, aber sie können nicht direkt zur Berechnung der Zykluszeit benutzt werden.

Die Belastung der mechanischen Schnittstelle und die Geschwindigkeiten während der Prüfung sind die selben wie für die in 6.6 für die Posekenngrößen angegeben.

Die für die Prüfung benutzten Geschwindigkeiten sind 100 % der Nenngeschwindigkeit, und zusätzlich muß die Prüfung mit optimierten Geschwindigkeiten für jeden Teil des Zyklus durchgeführt werden, um, wenn möglich, eine kürzere Positionierzeit zu erreichen. Die angewendeten Geschwindigkeiten müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Die Anzahl der Zyklen ist drei.

Die Tabellen 19 und 20 geben eine Zusammenfassung der Prüfbedingungen für die Mindestpositionierzeit.

– Um kurze Strecken für die Messung der Positionierzeit einzubeziehen, ist eine Anzahl von Posen entlang der

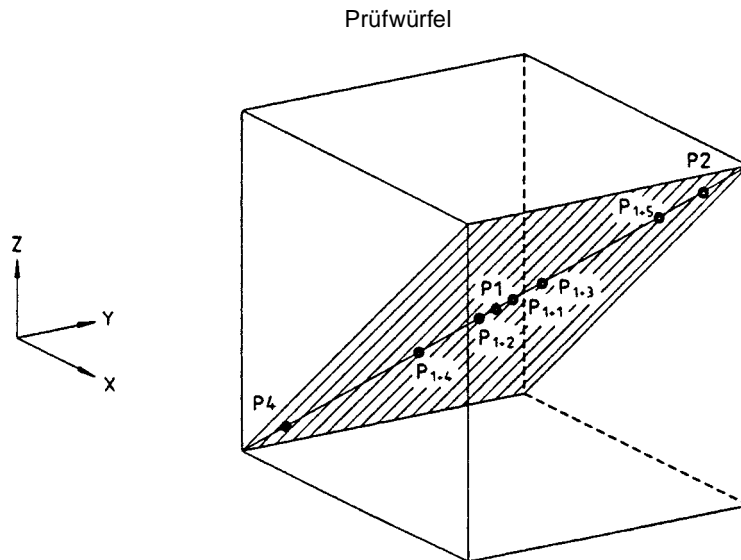


Bild 24: Darstellung des Zyklus

Diagonalen des in 6.8.4 festgelegten Würfels mit dem Mittelpunkt P_1 zu programmieren oder im Teach-in-Verfahren einzugeben. Die Teilabstände $D_x = D_y = D_z$ zwischen aufeinanderfolgenden Posen folgen einer alternierenden geometrischen Reihe, wie in Tabelle 19 dargestellt. Siehe auch Bild 24.

- Die Anzahl der Posen und Abstände hängen ab von der Größe des ausgewählten Würfels.
- Für jeden Verfahrensvorgang wird der Mittelwert von drei Zyklen berechnet, und die Werte werden in einer Tabelle mit Angabe des Posenabstandes aufgeführt.

10 Statische Nachgiebigkeit

Die statische Nachgiebigkeit ist der Höchstbetrag der Verlagerung je einwirkender Lasteinheit. Die Last sollte an der mechanischen Schnittstelle angreifen, und die Verlagerung sollte auch dort gemessen werden.

Die statische Nachgiebigkeit sollte in Millimeter je Newton mit Bezug auf das Basiskoordinatensystem angegeben werden.

Die während der Prüfungen angewandten Kräfte müssen in drei Richtungen angreifen, sowohl positiv als auch negativ sowie parallel zu den Achsen des Basiskoordinatensystems.

Die Kräfte müssen in Stufen von 10 % der Nennlast bis zu 100 % der Nennlast erhöht werden, jeweils in einer Richtung. Für jede Kraft und Richtung wird die entsprechende Verlagerung gemessen.

Die Messungen müssen mit angeschalteten Servos und abgeschalteten Bremsen durchgeführt werden.

Der Meßvorgang ist für jede Richtung dreimal zu wiederholen. Für diese Prüfung wird die Mitte der mechanischen Schnittstelle, wie in 6.8.4 festgelegt, bei P_1 angeordnet.

11 Anwendung spezifischer Leistungskenngrößen

11.1 Abweichungen beim Pendeln

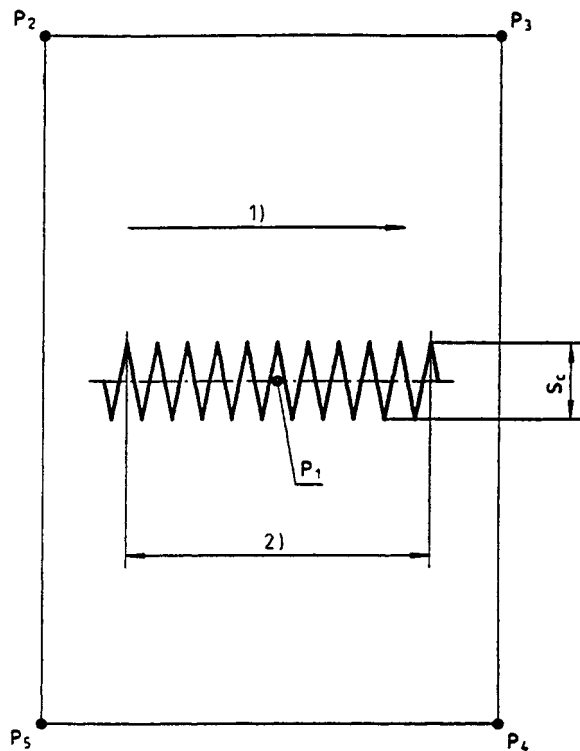
Die Leistungskenngrößen eines Roboters werden hinsichtlich der Abweichungen beim Pendeln in zwei Kriterien unterteilt. Diese sind:

- Pendelhubfehler (WS)
- Pendelfrequenzfehler (WF)

Pendeln ist die Kombination einer Bewegung oder mehrerer überlagerter Bewegungen auf einer Bahn und wird hauptsächlich beim Schweißen angewendet.

11.1.1 Prüfbahn beim Pendeln

Die auf Bild 25 festgelegte Bahn ist eine Wellenbahn in Sägezahnform mit einem Soll-Pendelhub S_c und einem Pendelabstand WD_c , die mit der Soll-Pendelfrequenz F_c erzeugt wird, die beide vom Hersteller angegeben werden. Innerhalb der ausgewählten Ebene entsprechend Bild 5 und Bild 6, in denen P_1 der Symmetriepunkt ist und die Mittellinie parallel zu $P_2 - P_3$ verläuft, müssen sich mindestens 10 Pendelabstände befinden.



- 1) Richtung der Pendel-Geschwindigkeit V_w
- 2) 10 Pendelabstände WD_c

Bild 25: Prüfbahn beim Pendeln in der ausgewählten Ebene

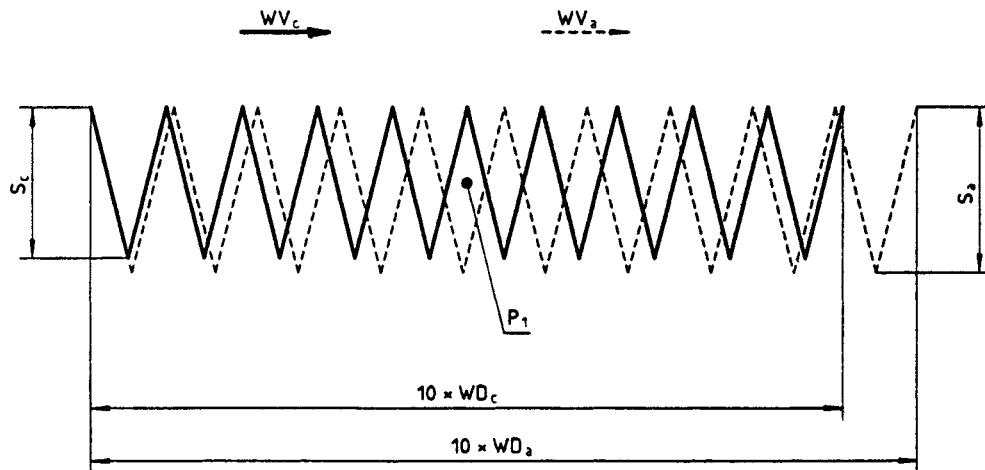


Bild 26: Darstellung von Ist- und Soll-Bahn beim Pendeln

11.1.2 Pendelhubfehler (*WS*)

Der Pendelhubfehler muß als prozentualer Wert aus der Differenz zwischen dem Soll-Pendelhub S_c und dem gemessenen mittleren Ist-Pendelhub S_a berechnet werden, siehe Bild 26:

$$WS = \frac{S_a - S_c}{S_c} \times 100(\%)$$

11.1.3 Pendelfrequenzfehler (*WF*)

Der Pendelfrequenzfehler muß als prozentualer Wert aus der Differenz zwischen der Soll-Pendelfrequenz F_c und der Ist-Pendelfrequenz F_a berechnet werden:

$$WF = \frac{F_a - F_c}{F_c} \times 100(\%)$$

Dabei sind

$$F_a = 10 \times \frac{WV_a}{10WD_a} \text{ und } F_c = 10 \times \frac{WV_c}{10WD_c}$$

mit

WV_c = Soll-Pendelgeschwindigkeit

WV_a = Ist-Pendelgeschwindigkeit

WD_c = Soll-Pendelabstand

WD_a = mittlerer Ist-Pendelabstand

12 Prüfbericht

Der Prüfbericht muß aus Deckblättern und einem oder mehreren Blättern mit Prüfergebnissen bestehen. Das Deckblatt muß allgemeine Informationen zum Roboter, Grundeinstellung der Meßeinrichtung und den Prüfbedingungen (physikalische Umgebung, Geräteaufbau/Erwärmungszustand, Instrumentierung, Programmierverfahren usw.) und zu den durchgeführten Prüfungen enthalten. Die Blätter für die Prüfergebnisse müssen eine Zusammenfassung der verschiedenen durchgeführten Prüfungen einschließlich der Meßunsicherheit enthalten.

In allen Berichten müssen alle Roboterprogramme und Parameter der Softwareprogramme enthalten sein, die bei jeder Prüfung verwendet wurden.

Anhang C enthält ein Beispiel eines Prüfberichtes und zeigt die erforderlichen Mindestangaben für das Deckblatt und die Ergebnisblätter.

Anhang A (normativ)

Parameter für Vergleichsprüfungen

A.1 Allgemeines

Dieser Anhang stellt, wie im Abschnitt Anwendungsbereich beschrieben, spezielle Parameter für die Durchführung von Vergleichsprüfungen mit typischen punktbezogenen und bahnbezogenen Kenngrößen zur Verfügung.

Für Vergleichsprüfungen der Kenngrößen, die in Tabelle A.1 aufgeführt sind, müssen die in diesem Anhang aufgezählten Parameter für Würfelgrößen, Ebenen, Lasten, Geschwindigkeiten und Bahnformen angewendet werden, wenn nicht andere Werte zwischen Lieferant und Anwender vereinbart wurden. Tabelle A.1 liefert Informationen für spezielle Prüfparameter, die nicht an anderer Stelle in diesem Anhang festgelegt sind.

Wenn in diesem Anhang keine spezifischen Parameter zur Verfügung gestellt werden, müssen die Prüfbedingungen und -parameter, die im Hauptteil dieser Norm festgelegt wurden, angewendet werden, z. B. Anordnung der Posen, Anzahl der Zyklen.

Kenngrößenvergleiche sind nur dann von Bedeutung, wenn äußere Reaktionskräfte keinen entscheidenden Einfluß auf den Endeffektor haben.

Tabelle A.1: Liste der Kenngrößen

Zu prüfende Kenngrößen	Bemerkungen
Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit	
Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit	
Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit	
Positions-Stabilisierungszeit	
Positions-Überschwingen	
Drift von Posekenngrößen	
Austauschbarkeit	
Positions-Bahn-Genauigkeit	Die Länge linearer Prüfbahnen wird entsprechend den Prinzipien in 6.8.6.2 durch die Größe des ausgewählten Würfels festgelegt.
Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung	Die Länge linearer Prüfbahnen wird entsprechend den Prinzipien in 6.8.6.2 durch die Größe des ausgewählten Würfels festgelegt.
Abweichungen beim Fahren einer (scharfen) Ecke	
Bahngeschwindigkeit	
Mindestpositionierzeit	
Statische Nachgiebigkeit	
Pendeln	$S_c = 10 \text{ mm}$, $f = 1, 2 \text{ oder } 5 \text{ Hz}$ für die in 11.1.1 und Bild 25 festgelegte Bahn

A.2 Würfelgröße und Auswahl der Prüfebene

Wenn nicht anders vereinbart, muß der größte Würfel mit den Seitenlängen 250, 400, 630 oder 1000 mm verwendet werden. Der Mittelpunkt des ausgewählten Würfels (P_1 , siehe 6.8.4 und Bild 4) muß im selben Mittelpunkt angeordnet werden, wie ein Würfel mit dem größten zulässigen Volumen und mit Kanten parallel zum Basiskoordinatensystem. Die Position des Würfels mit Bezug zum Basiskoordinatensystem des Roboters muß im Prüfbericht vermerkt werden.

Die Ebene (a) $C_1 - C_2 - C_7 - C_8$ in Bild 2 muß benutzt werden.

Für Roboter mit weniger als sechs Achsen muß die Ebene 2, 3 oder 4 in Bild 5 benutzt werden.

A.3 Last an der mechanischen Schnittstelle

Alle Prüfungen müssen mit der schwersten möglichen Prüflast in Übereinstimmung mit Tabelle A.2 und optional auch mit 10% dieser Prüflast durchgeführt werden. Der axiale und der radiale Versatz des Schwerpunktes CG und der axiale Versatz des Meßpunktes MP sind in Bild 3 dargestellt.

Tabelle A.2: Kategorien der Standard-Prüflast

Prüflast-Kategorie	Masse kg	Axialer CG Versatz L_z mm	Radialer CG und MP Versatz L_x, X_{MP} mm	Axialer MP Versatz Z_{MP} mm
1	1	20	0	40
2	2	40	20	80
3	5	60	30	120
4	10	80	40	160
5	20	100	50	200
6	40	120	60	240
7	60	140	70	280
8	80	160	80	320
9	100	180	90	360
10	120	200	100	400
11	140	220	110	440

CG – Schwerpunkt MP – Meßpunkt

A.4 Prüfgeschwindigkeiten

Posekenngrößen müssen mit den in Tabelle A.3 festgelegten Geschwindigkeiten geprüft werden. Wenn die Geschwindigkeit 1 600 mm/s nicht möglich ist, muß die Geschwindigkeit 630 mm/s benutzt werden. Der Grenzbereich in Tabelle A.3 wird in 7.4 und 7.5 beschrieben.

Bahnkenngrößen müssen mit den in Tabelle A.4 beschriebenen Geschwindigkeiten geprüft werden.

Tabelle A.3: Prüfgeschwindigkeiten für Posekenngrößen

Zu prüfende Kenngrößen	Geschwindigkeit											
	Niedrig						Hoch					
	10 mm/s			250 mm/s			630 mm/s			1 600 mm/s		
	Grenzbereich mm			Grenzbereich mm			Grenzbereich mm			Grenzbereich mm		
	0,1	0,5	1,0	0,1	0,5	1,0	0,1	0,5	1,0	0,1	0,5	1,0
Positions-Stabilisierungszeit	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X
Positions-Überschwingen	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X
Mindestpositionierzeit	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X
	10 mm/s			250 mm/s			630 mm/s			1 600 mm/s		
Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit	X			O			O			X		
Streuung der Mehrfachrichtungs- pose-Genauigkeit	X			O			O			X		
Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit	X			O			O			X		
X = vorgeschrieben O = optional												

ANMERKUNG: Bei einer Geschwindigkeit von 1 600 m/s kann von den drei Werten des Grenzbereiches ein Zahlenwert ausgewählt werden.

Tabelle A.4: Prüfgeschwindigkeiten für Bahnkenngrößen

Zu prüfende Kenngrößen	Geschwindigkeit			
	niedrig	hoch		
	10 mm/s	250 mm/s	630 mm/s	1 600 mm/s
Positions-Bahn-Genauigkeit	X	X	O	X
Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung	X	X	O	X
Abweichungen beim Fahren einer scharfen Ecke	–	X	O	X
Kenngrößen der Bahngeschwindigkeit	X	X	O	X
Abweichungen beim Pendeln	X	O	–	–
X = vorgeschrieben O = optional				

Niedrige Geschwindigkeit ist bei Anwendungen wie Schweißen, Schneiden, Polieren/Entgraten zu benutzen. Hohe Geschwindigkeit ist beispielweise beim Lackieren und Auftragen von Dichtmitteln anzuwenden.

A.5 Form und Größe einer optionalen Prüfbahn

Die im Bild A.1 gezeigte Prüfbahn ist eine optionale Bahn mit verschiedenen Bahnelementen, die für die Prüfung der Positions-Bahngenauigkeit genutzt werden kann. Die Koordinaten für die Punkte P_1 und P_{10} bis P_{36} werden als Beispiele für Ebenen der Größen 400×400 mm und 800×800 mm in Tabelle A.5 angegeben.

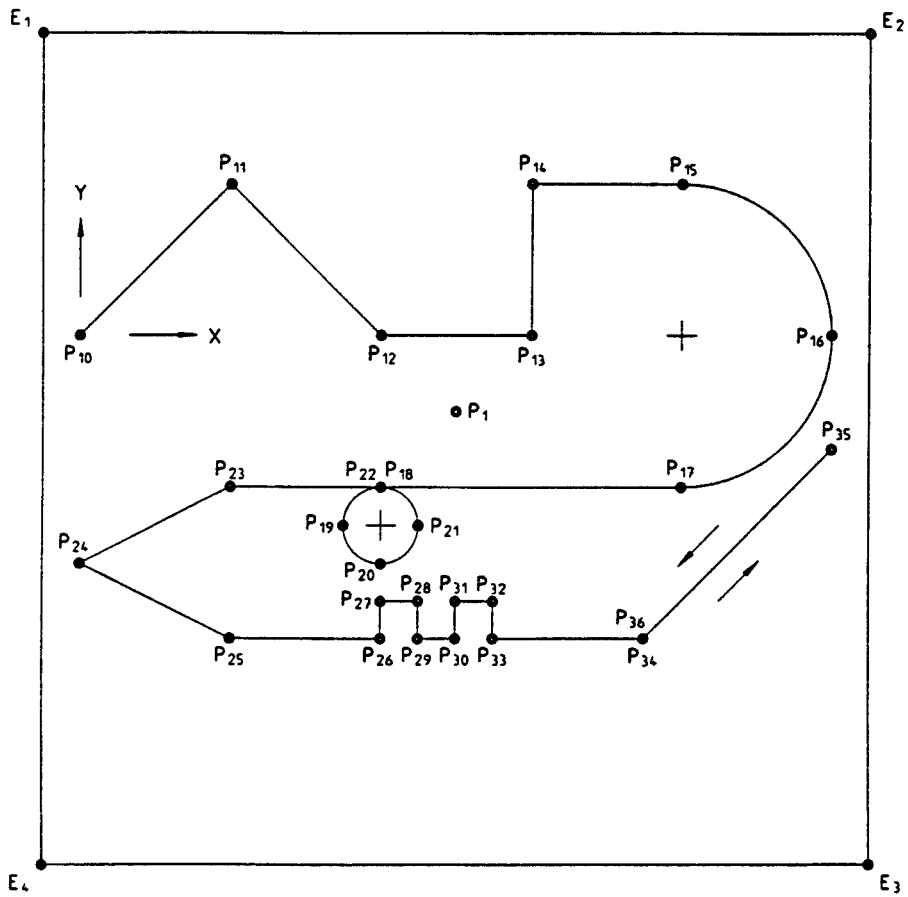


Bild A.1: Optionale Prüfbahn

Tabelle A.5: Koordinaten für die optionale Prüfbahn

Punkt	Ebene 400 × 400 mm		Ebene 800 × 800 mm	
	X	Y	X	Y
1	180	-50	360	-100
10	0	0	0	0
11	70	70	140	140
12	140	0	280	0
13	210	0	420	0
14	210	70	420	140
15	280	70	560	140
16	360	-10	720	-20
17	280	-90	560	-180
18	140	-90	280	-180
19	120	-110	240	-220
20	140	-130	280	-260
21	160	-110	320	-220

(fortgesetzt)

Tabelle A.5 (abgeschlossen)

Punkt	Ebene 400 × 400 mm		Ebene 800 × 800 mm	
	X	Y	X	Y
22	140	-90	280	-180
23	70	-90	140	-180
24	0	-130	0	-260
25	70	-170	140	-340
26	140	-170	280	-340
27	140	-160	280	-320
28	150	-160	300	-320
29	150	-170	300	-340
30	160	-170	320	-340
31	160	-160	320	-320
32	170	-160	340	-320
33	170	-170	340	-340
34	260	-170	520	-340
35	360	-70	720	-140
36	260	-170	520	-340

Anhang B (informativ)

Anleitung zur Auswahl von Leistungskenngrößen für typische Anwendungen

Einleitung

In der Einleitung und in 6.11 ist erwähnt, daß die beschriebenen Prüfungen insgesamt oder in Teilen angewendet werden dürfen, abhängig von Robotertyp und -anforderungen. Die Auswahl der Prüfungen wird vom Benutzer von ISO 9283 abhängig von seinen eigenen spezifischen Anforderungen vorgegeben.

Das Ziel dieses Anhangs ist es, eine Anleitung zur Auswahl von wesentlichen Roboterprüfungen für einige typische Anwendungen zu geben. Folglich kann die Zahl der Prüfungen begrenzt sein.

Tabelle B.1 enthält eine Liste einiger typischer Roboteranwendungen, die wesentlichen Prüfungen für die unterschiedlichen Anwendungen sind mit einem „X“ gekennzeichnet.

ANMERKUNGEN zu Tabelle B.1:

- 1) Anwendung, für die üblicherweise Punkt-zu-Punkt-Steuerungen genutzt werden
- 2) Anwendung, für die üblicherweise Bahn-Steuerungen genutzt werden
- 3) nur im Falle der Off-line-Programmierung
- 4) nur Position

Tabelle B.1: Anleitung zur Auswahl von Leistungskenngrößen für typische Anwendungen

Angewendete Kenngrößen	Abschnitt in ISO 9283 : 1997	Anwendungen									
		Punkt- schweißen	Hand- habung/ Beladen/ Entladen	Montage		Inspektion		Entgraten/ Polieren/ Schneiden	Farb- spritzen	Licht- bogen- schweißen	Auftragen von Dicht- mitteln
				1)	2)	1)	2)				
Pose-Genauigkeit	7.2.1	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾			X ³⁾	
Pose-Wiederholgenauigkeit	7.2.2	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾			X ⁴⁾	
Streuung der Mehrfachrichtungspose- Genauigkeit	7.2.3		X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾				
Abstands-Genauigkeit/ Wiederholgenauigkeit	7.3	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾				
Pose-Stabilisierungszeit	7.4	X	X	X	X	X	X				
Pose-Überschwingen	7.5	X	X	X	X	X	X			X	
Drift von Pose-Genauigkeit	7.6	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾			X ³⁾	
Drift von Pose-Wiederholgenauigkeit	7.6	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾			X ⁴⁾	
Austauschbarkeit	7.7										
Bahn-Genauigkeit	8.2				X ³⁾		X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾
Bahn-Wiederholgenauigkeit	8.3				X ⁴⁾		X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾	X ⁴⁾
Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung	8.4										
Abweichungen beim Fahren einer Ecke	8.5				X		X	X			X
Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit	8.6.2							X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾	X ³⁾
Bahngeschwindigkeits- Wiederholgenauigkeit	8.6.3							X	X	X	X
Bahngeschwindigkeits-Schwankung	8.6.4							X	X	X	X
Mindestpositionierzeit	9	X	X	X							
Statische Nachgiebigkeit	10	X	X	X	X			X			
Abweichungen beim Pendeln	11.1									X	

Anhang C (informativ)

Beispiel für einen Prüfbericht

Roboter

Hersteller: _____

Typ: _____

Modell-Nr.: _____

Serien-Nr.: _____

Aufstellorientierung: _____

Software-Version: _____

Programmierverfahren: _____

Prüfört (Standort): _____

Steuerungssystem

Physikalische Umgebung

Umgebungstemperatur: _____

Außergewöhnliche Bedingungen: _____ (siehe Anmerkung)

ANMERKUNG: Kommentare zu Bedingungen, die nicht innerhalb der erwarteten Grenzwerte liegen.

Aufwärmphase: _____

Meßzeit: _____

Verweilzeit: _____

Geräteausstattung

Typ: _____ Modell-Nr.: _____ Serien-Nr.: _____

Kommentare: _____

Prüfbedingungen

Bedingungen für die Nennmasse

Masse (kg) _____ Koordinaten des Schwerpunkts (L_x, L_y, L_z) _____

Trägheitsmoment (kg/m^2) _____ Koordinaten des Meßpunkts (X_{MP}, Y_{MP}, Z_{MP}) _____

Durchgeführte Prüfungen nach ISO 9283

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Pose-Genauigkeit | <input type="checkbox"/> Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit |
| <input type="checkbox"/> Pose-Wiederholgenauigkeit | <input type="checkbox"/> Bahn-Genauigkeit bei Umorientierung |
| <input type="checkbox"/> Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit | <input type="checkbox"/> Abweichungen beim Fahren einer Ecke |
| <input type="checkbox"/> Abstandsgenauigkeit und
Abstands-Wiederholgenauigkeit | <input type="checkbox"/> Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit,
-Wiederholgenauigkeit und
-Schwankung |
| <input type="checkbox"/> Positions-Stabilisierungszeit | <input type="checkbox"/> Mindestpositionierzeit |
| <input type="checkbox"/> Positions-Überschwingen | <input type="checkbox"/> Statische Nachgiebigkeit |
| <input type="checkbox"/> Drift von Posekenngrößen | <input type="checkbox"/> Abweichungen beim Pendeln |
| <input type="checkbox"/> Austauschbarkeit | |

Ausgefertigt durch: _____ Datum: _____

Geprüft durch: _____ Datum: _____

Tabellen für die Prüfergebnisse

ANMERKUNG: Die folgenden Tabellen werden nur als Beispiele angegeben.

Tabelle C.1: Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit

Last	Geschwindigkeit	P_1		P_2		P_3	P_4	P_5
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$AP_p =$ $AP_a =$ $AP_b =$ $AP_c =$	$RP_1 =$ $RP_a =$ $RP_b =$ $RP_c =$	$AP_p =$ $AP_a =$ $AP_b =$ $AP_c =$	$RP_1 =$ $RP_a =$ $RP_b =$ $RP_c =$			
10 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle 10 % der schwersten Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$AP_p =$ $AP_a =$ $AP_b =$ $AP_c =$	$RP_1 =$ $RP_a =$ $RP_b =$ $RP_c =$			

Tabelle C.2: Streuung der Mehrfachrichtungspose-Genauigkeit

Last	Geschwindigkeit	P_1	P_2	P_4
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$vAP_p =$ $vAP_a =$ $vAP_b =$ $vAP_c =$	$vAP_p =$ $vAP_a =$ $vAP_b =$ $vAP_c =$
10 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle 10 % der schwersten Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$vAP_p =$ $vAP_a =$ $vAP_b =$ $vAP_c =$

Tabelle C.3: Abstands-Genauigkeit und Abstands-Wiederholgenauigkeit

Last	Geschwindigkeit	P_2		P_4	
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$AD_p =$ $AD_a =$ $AD_b =$ $AD_c =$	$RD =$ $RD_a =$ $RD_b =$ $RD_c =$		
Programmierverfahren:					

Tabelle C.4: Positions-Stabilisierungszeit und -Überschwingen

Last	Geschwindigkeit	P_1	Grenzbereich
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$t =$ $OV =$	festgelegter Grenzbereich:
10 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle 10 % der schwersten Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.3	$t =$ $OV =$	festgelegter Grenzbereich:

Tabelle C.5: Austauschbarkeit

Last	Geschwindigkeit	Austauschbarkeit
100 % nach 6.6	100 % nach 6.7	$E =$

Tabelle C.6: Bahn-Genauigkeit und Bahn-Wiederholgenauigkeit

Last	Geschwindigkeit	Ausgewählte Form und Länge der Bahn	Genauigkeit	Wiederholgenauigkeit	Wiederholgenauigkeit bei Umorientierung
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.4		$AT_p =$ $AT_a =$ $AT_b =$ $AT_c =$	$RT_p =$ $RT_a =$ $RT_b =$ $RT_c =$	$AT_p =$
10 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle 10 % der schwersten Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.4		$AT_p =$ $AT_a =$ $AT_b =$ $AT_c =$	$RT_p =$ $RT_a =$ $RT_b =$ $RT_c =$	$AT_p =$

Tabelle C.7: Abweichungen beim Fahren einer Ecke

Last	Nenn-Geschwindigkeit	Verminderte Geschwindigkeit	Überschwing-Fehler	Rundungs-Fehler
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle nach Tabelle A.4		$CO =$	$CR =$
höchste Bahn-Nenngeschwindigkeit				m/s
höchste Verminderung der Bahngeschwindigkeit in der Ecke				m/s
Entfernungen von der Ecke, wo die Verminderung der Geschwindigkeit beginnt und endet				mm

Tabelle C.8: Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit, -Wiederholgenauigkeit und -Schwankung

Last	Geschwindigkeit	Bahngeschwindigkeits-Genauigkeit	Bahngeschwindigkeits-Wiederholgenauigkeit	Bahngeschwindigkeits-Schwankung
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.4	AV = %	RV = %	FV = %
10 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle 10 % der schwersten Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.4	AV = %	RV = %	FV = %

Tabelle C.9: Mindestpositionierzeit

Startpose	Ankunftspose	Entfernung mm	Zeit s
Angewendete Geschwindigkeiten:			

Tabelle C.10: Statische Nachgiebigkeit

Richtung und Richtungssinn der Kraft	X ⁺	X ⁻	Y ⁺	Y ⁻	Z ⁺	Z ⁻
Kraft (Wert)	... N	... N	... N	... N	... N	... N
Nachgiebigkeit	... mm/N	... mm/N	... mm/N	... mm/N	... mm/N	... mm/N

Tabelle C.11: Abweichungen beim Pendeln

Last	Geschwindigkeit	Fehler des Pendelhubs	Fehler der Pendelfrequenz
100 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle die schwerste Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.4	WS = %	WF = %
10 % nach 6.6 oder für Vergleichsfälle 10 % der schwersten Last nach Tabelle A.2	100 % und 50 % und/oder 10 % nach 6.7 oder für Vergleichsfälle hohe und niedrige Geschwindigkeit nach Tabelle A.4	WS = %	WF = %

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

Publikation	Jahr	Titel	EN	Jahr
ISO 8373	1994	Manipulating industrial robots – Vocabulary	EN ISO 8373	1996
ISO 9787	1990	Manipulating industrial robots – Coordinate systems and motions	EN 29787	1992
ISO 9946	1991	Manipulating industrial robots – Presentation of characteristics	EN 29946	1992