

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Verfügbarkeit von Transport- und  
Lageranlagen sowie deren Teilsysteme  
und Elemente

VDI 3581

Availability of transport and storage systems  
including subsystems and elements

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung . . . . .	2	Preliminary note . . . . .	2
<b>1 Verfügbarkeit . . . . .</b>	<b>2</b>	<b>1 Availability . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>2 Verfügbarkeit von Systemen . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>2 Availability of systems . . . . .</b>	<b>3</b>
2.1 Ersatzschaltbild . . . . .	3	2.1 Equivalent circuit diagram . . . . .	3
2.2 Verfügbarkeitsformeln . . . . .	3	2.2 Availability formulae . . . . .	3
2.3 Randbedingungen und logistische Funktionen. . . . .	6	2.3 Basic conditions and logistical functions. . . . .	6
2.4 Beispiel Hochregallager mit Vorzone. . . . .	8	2.4 Example of a high-bay warehouse with forecourt . . . . .	8
<b>3 Verfügbarkeitsermittlung. . . . .</b>	<b>11</b>	<b>3 Determination of the availability . . . . .</b>	<b>11</b>
3.1 Verfügbarkeitstest . . . . .	11	3.1 Availability test . . . . .	11
3.2 Verfügbarkeitstest der Beispielanlage. . . . .	12	3.2 Availability test of the sample system . . . . .	12
3.2.1 Auswertung nach der „konventionellen“ Methode . . . . .	13	3.2.1 Evaluation based on the "conventional" method. . . . .	13
3.2.2 Auswertung über die Einführung eines Gewichtungsfaktors $k_i$ . . . . .	13	3.2.2 Evaluation after the introduction of a weighting factor $k_i$ . . . . .	13
3.2.3 Vergleich der Testmethoden . . . . .	13	3.2.3 Comparison of the test methods . . . . .	13
Schlussbemerkung . . . . .	14	Concluding comments . . . . .	14
Schrifttum . . . . .	15	Bibliography . . . . .	15

VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik

Fachbereich Logistik  
Fachausschuss Verfügbarkeit

## Vorbemerkung

Planer, Hersteller und Betreiber sind gleichermaßen an vergleichbaren Kenngrößen interessiert, die eine Aussage über die Verfügbarkeit (Einsatz-/Funktionsbereitschaft) von automatischen Lager-, Materialfluss- und Kommissionier-Systemen ermöglichen. Die Verfügbarkeit eines Systems bildet gewissermaßen die Voraussetzung für einen hohen System-Durchsatz (siehe u.a.: Richtlinien VDI 3561, VDI 3578, VDI 3579, VDI 3649, VDI 4480 Blatt 1 ff.).

Die Verfügbarkeit wird definiert als eine abgeleitete Größe der Einschaltzeit (Betriebs- plus Bereitschaftszeit) und der Ausfallzeit; diese unterliegen Zufallsprozessen. Die Verfügbarkeit von Transport- und Lageranlagen kann in zwei Methoden getestet werden: Einmal die Abschätzung in der Planungsphase und zum Zweiten die praktische Messung im Rahmen der Anlageninbetriebnahme.

Die Strombelastung ist bei der Verfügbarkeitsberechnung/-messung eines Systems nicht zu berücksichtigen. Systempuffer können dagegen zur Störzeitreduzierung führen. Ein Puffer kann die Ausfallzeiten der dem Puffer vorgelagerten Elemente unter Umständen kompensieren und damit die Verfügbarkeit (vgl. Gleichung 1) erhöhen.

Im Folgenden wird auf die theoretischen Grundlagen und die allgemein gültigen Berechnungsformeln für die Verfügbarkeitsberechnung/-messung unter Berücksichtigung der Materialflussstruktur und deren Gewichtung anhand von Beispielen eingegangen. In der praktischen Anwendung ist aus der Materialflussstruktur (System, Teilsystem, Element) entsprechend den Anforderungen an die Struktur ein Ersatzschaltbild zu entwickeln. Bei automatisierten Systemen ist entsprechend dem Grad des Funktionszusammenhanges ebenfalls die Verfügbarkeit der IT-Systeme zu berücksichtigen.

## 1 Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit eines Elementes oder eines Teilsystems in einer Transport- oder Lageranlage ist die Wahrscheinlichkeit, die betrachteten Einheiten zu einem beliebigen Zeitpunkt während der Betriebszeit in einem ordnungsgemäß funktionierenden Zustand anzutreffen.

Dabei bezieht sich die Verfügbarkeit nur auf die technischen Komponenten der Transport- oder Lageranlage inklusive der zugehörigen Steuerungen. Für die praktische Messung muss die Anlage kontinuierlich belastet werden, ohne dass es zu Stauungen kommt. Die Verfügbarkeit bildet die Grundlage für den Durchsatz einer Transport- oder Lageranlage. Sie kann durch die Organisation und die Betriebsstrategie beeinflusst werden.

## Preliminary note

Planners, manufacturers and operators are all interested in having comparable characteristic values which allow a statement on the availability (operational/functional readiness) of automatic storage, material flow and order picking systems. The availability of a system is, in a way, a precondition for a high system throughput (see also: guidelines VDI 3561, VDI 3578, VDI 3579, VDI 3649, VDI 4480 Part 1 onwards).

Availability is defined as a derived quantity of the switched-on time (operation time plus standby time) and the down time. These are subject to random processes. There are two methods for testing the availability of transport and storage systems: a) estimation in the planning phase and b) practical measurement within the framework of the system start-up.

The power load is not to be taken into account for the availability calculation/measurement of a system. System buffers, on the other hand, can help to reduce down times. Under certain circumstances a buffer can compensate for the down times of the elements upstream of the buffer and thus increase the availability (see Equation 1).

The following deals with the theoretical principles and the generally applicable calculation formulae for the availability calculation/measurement taking into account the material flow structure and its weighting on the basis of examples. In practical application, an equivalent circuit diagram has to be developed from the material flow structure (system, subsystem, element) according to the requirements on the structure. In automated systems the availability of the IT systems must also be taken into account depending on the degree of functional interaction.

## 1 Availability

The availability of an element or of a sub-element in a transport or storage system is the probability of finding the observed units in a correctly functioning state at any given time during the operating period.

Availability here refers only to the technical components of the transport or storage system including the corresponding control systems. For practical measurement the system must be operated continuously without any congestion occurring. The availability forms the basis for the throughput of a transport or storage system. It can be influenced by the organisation and the operation strategy.

Für eine betrachtete Komponente der Gesamtanlage wird die Verfügbarkeit  $\eta$  durch das Verhältnis von Ausfallzeit zur Einschaltzeit definiert.

$$\eta = \frac{(T_E - T_A)}{T_E} = 1 - \frac{T_A}{T_E} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

Dabei ist

$T_E$  Einschaltzeit (Definition aus VDI 3580)  
Die Zeit, in der die Anlage eingeschaltet ist, unabhängig davon, ob die Funktion ausgeübt wird (In der VDI 3649 wird diese Zeit als Einsatzzeit bezeichnet.)

$T_A$  Ausfallzeit  
Zeit innerhalb der Einschaltzeit, in der ein bestimmtes Element nicht betriebsbereit ist.

$MTBF$  mittlere störungsfreie Zeit zwischen den Fehlern (Mean Time Between Failure)

$MTTR$  mittlere Reparaturdauer (Mean Time To Repair)

Gleichung (1) eignet sich für die praktische Messung der Verfügbarkeit nach VDI 3580.

Gleichung (2) ist der Gleichung (1) mathematisch ähnlich und eignet sich für theoretische Berechnungen der Verfügbarkeit.

Für einige Überlegungen ist es einfacher, mit den Nichtverfügbarkeiten  $\mu$  zu rechnen (vgl. beispielsweise Gleichung (7) mit Gleichung (9)):

$$\mu = 1 - \eta \quad (3)$$

## 2 Verfügbarkeit von Systemen

### 2.1 Ersatzschaltbild

Das Thema der Verfügbarkeit bei logistischen Anlagen kann grob in zwei Teile geteilt werden:

Einmal die Abschätzung bzw. Berechnung der Verfügbarkeit in der Planungsphase und zum Zweiten die praktische Messung im Rahmen der Anlagen-inbetriebnahme. Ablauf und Zeitplan sind vertraglich zu vereinbaren. Die theoretische und praktische planmäßige Ermittlung der Verfügbarkeit geschieht in zwei getrennten Abschnitten. Grundlage für diese Denkweise ist die Bildung eines Ersatzschaltbildes für die Anlage in Reihen- und Parallelanordnungen. Reihen- und Parallelanordnungen deshalb, weil Anlagenteile unabdingbar notwendig sind (Reihen-anordnung) oder durch parallele Techniken ersetzt werden können (Parallelanordnung). Für die korrekte Verfügbarkeitsermittlung muss dieses Ersatzschaltbild erarbeitet und dann berechnet werden. Bevor auf

For an observed component of the overall system the availability  $\eta$  is defined as the ratio of down time to switched-on time.

$$\eta = \frac{(T_E - T_A)}{T_E} = 1 - \frac{T_A}{T_E} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

where

$T_E$  switched-on time (definition from VDI 3580)  
The time during which the system is switched on, regardless of whether it is actually carrying out its function (In VDI 3649 this is referred to as operating time.)

$T_A$  Down time  
Time within the switched-on time when a certain element is not ready for operation.

$MTBF$  Mean Time Between Failures

$MTTR$  Mean Time To Repair

Equation (1) is suitable for the practical measurement of availability in accordance with VDI 3580.

Equation (2) is mathematically similar to Equation (1) and is suitable for theoretical calculations of the availability.

In some cases it is simpler to use the non-availabilities  $\mu$  (compare, for example, Equation (7) with Equation (9)):

$$\mu = 1 - \eta \quad (3)$$

## 2 Availability of systems

### 2.1 Equivalent circuit diagram

The subject of the availability of logistic systems can be divided roughly into two separate areas:

a) the estimation or calculation of availability in the planning phase and b) the practical measurement within the framework of the system start-up. The procedure and time schedule must be contractually agreed. The theoretical and practical scheduled calculation of availability takes place in two separate stages. The basis of this approach is the formation of an equivalent circuit diagram for the system in serial and parallel arrangements. Serial and parallel arrangements are used to account for situations where system parts are indispensable (serial arrangement) or where they can be substituted by parallel techniques (parallel arrangement). For a correct availability calculation this equivalent circuit diagram must be compiled and then calculated. Before we deal with