Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für ein Blockheizkraftwerk

Die Stadtwerke einer Stadt ergänzten vor vier Monaten ihr bestehendes Blockheizkraftwerk (Gasturbinenkraftwerk – GT) durch einen zweiten Kraftwerksblock (Gas-Ottomotor-Kraftwerk – OM). Die letzte große Revision mit Austausch aller Verschleißteile beim Gasturbinenkraftwerk liegt aktuell 19 Monate zurück. Erfahrungswerte der Hersteller besagen: Ausfallrate des Gasturbinenkraftwerks λ_{GT} = 1,5 x 10^{-5} h^{-1} und Ausfallrate des Ottomotor-Kraftwerks λ_{OM} = 8 x 10^{-6} h^{-1}. Die Stadtwerke wünschen sich von der Gesamtanlage eine Versorgungssicherheit von mindestens 95 % (wichtig insbesondere für die Wärmeversorgung der angeschlossenen Stadtteile).

Ermitteln Sie, in wieviel Monaten (zu 30 Tagen) das Gasturbinenkraftwerk dafür einer erneuten großen Revision zu unterziehen ist. Diese Revision dauert einen Monat. Gesetzt den Fall, dass dabei die Systemzeit des Gasturbinenkraftwerks bezüglich der MTBF auf Null gesetzt werden kann – d. h. Neuzustand nach der Revision. In wieviel Monaten müsste entsprechend das neue Motorkraftwerk zum ersten Mal inklusive Austausch aller Verschleißteile gewartet werden?

Aus logischer Sicht stellt das Blockheizkraftwerk eine ODER-Verknüpfung bzw. Parallelschaltung der beiden Kraftwerksblöcke dar, insofern das Kraftwerk wenigstens eingeschränkt weiter funktionsfähig bleibt, wenn nur ein Block nicht mehr funktionsfähig ist. Damit ergibt sich für die Ausfallwahrscheinlichkeit F(t):

$$F_{ges}(t) = F_{GT}(t) \cdot F_{OM}(t)$$
$$R_{ges}(t) = 1 - F_{ges}(t)$$
$$R_{ges}(t) = 1 - F_{GT}(t) \cdot F_{OM}(t)$$
$$R_{ges}(t) = 1 - [1 - R_{GT}(t)] \cdot [1 - R_{OM}(t)]$$

Die Berücksichtigung der gewünschten Versorgungssicherheit von 95 % führt auf:

$$0{,}95 = 1 - [1 - R_{GT}(t)] \cdot [1 - R_{OM}(t)]$$
$$0{,}05 = [1 - R_{GT}(t)] \cdot [1 - R_{OM}(t)]$$
$$0{,}05 = \left[1 - e^{-\lambda_{GT} \cdot t}\right] \cdot \left[1 - e^{-\lambda_{OM} \cdot t}\right]$$

Das Einsetzen aller numerischen Größen zur Ermittlung der verbleibenden Laufzeit t des Gasturbinenblocks bis zur nächsten großen Revision ergibt:

$$0{,}05 = \left[1 - e^{-\lambda_{GT} \cdot (19\,\text{Monate} + t)}\right] \cdot \left[1 - e^{-\lambda_{OM} \cdot (4\,\text{Monate} + t)}\right]$$
$$0{,}05 = \left[1 - e^{-1{,}5 \cdot 10^{-5}\,h^{-1} \cdot (19\,\text{Monate} \cdot 30\,\text{Tage/Monat} \cdot 24\,\text{h/Tag} + t \cdot 30\,\text{Tage/Monat} \cdot 24\,\text{h/Tag})}\right]$$
$$\cdot \left[1 - e^{-8 \cdot 10^{-6}\,h^{-1} \cdot (4\,\text{Monate} \cdot 30\,\text{Tage/Monat} \cdot 24\,\text{h/Tag} + t \cdot 30\,\text{Tage/Monat} \cdot 24\,\text{h/Tag})}\right]$$

Die analytische Lösung dieser Gleichung für die Zeit t ist ohne weiteres nicht möglich. Relativ problemlos kann man jedoch z. B. schon mit Hilfe eines geeigneten Taschenrechners ermitteln, nach welcher Zeit t der Ausdruck auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens den Wert 0,05 erreicht. Das ist der Fall bei:

$$t = 22{,}09\ \text{Monate}$$

Die nächste große Revision des Gasturbinenblocks ist bei Einhaltung der geforderten 95 % Versorgungssicherheit also in 22 Monaten notwendig.

Die Ermittlung der verbleibenden Laufzeit des neuen Motorkraftwerks für den Fall, dass der Gasturbinenblock in 22 Monaten die große Revision (Dauer 1 Monat) erfährt, führt auf eine ähnliche formelmäßige Konstellation wie soeben. Entscheidend ist die Berücksichtigung der jetzt veränderten zeitlichen Situation:

$$0{,}05 = \left[1 - e^{-\lambda_{GT}\cdot(t-(22{,}09\,\text{Monate}+1\,\text{Monat}))}\right]\cdot\left[1 - e^{-\lambda_{OM}\cdot(4\,\text{Monate}+t)}\right]$$

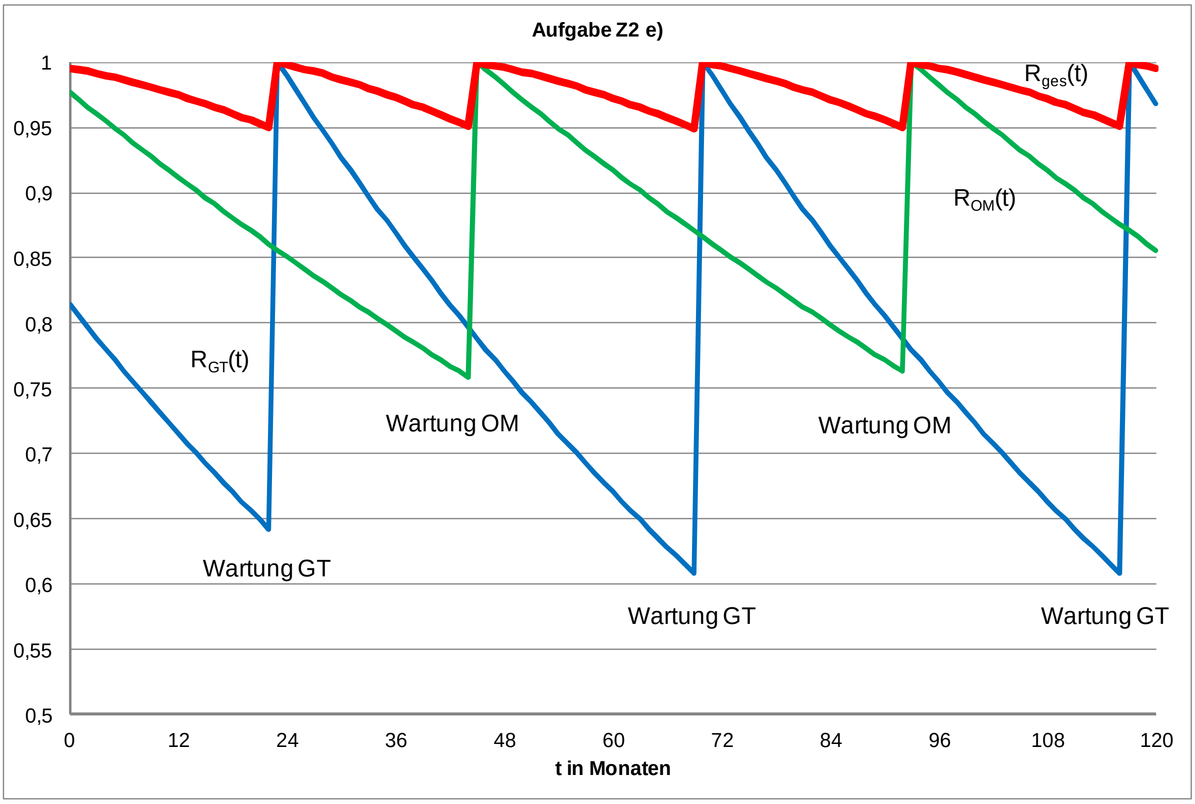
$$0{,}05 = \left[1 - e^{-1{,}5\cdot 10^{-5}\,h^{-1}\cdot(t\cdot 30\,\text{Tage/Monat}\cdot 24\,h/\text{Tag} - 23{,}09\,\text{Monate}\cdot 30\,\text{Tage/Monat}\cdot 24\,h/\text{Tag})}\right]$$
$$\cdot\left[1 - e^{-8\cdot 10^{-6}\,h^{-1}\cdot(4\,\text{Monate}\cdot 30\,\text{Tage/Monat}\cdot 24\,h/\text{Tag} + t\cdot 30\,\text{Tage/Monat}\cdot 24\,h/\text{Tag})}\right]$$

Die soeben schon beschriebene numerische Lösung ergibt:

$t = 44{,}39$ Monate

Die erste große Revision des Motorblocks ist bei Einhaltung der geforderten 95 % Versorgungssicherheit in 44 Monaten notwendig.

Eine graphische Darstellung der idealisierten Verhältnisse (das betrifft die Annahme des Neuzustands nach jeder Revision) für das Blockheizkraftwerk ergibt für die nächsten zehn Jahre ab dem Betrachtungszeitpunkt aus der Aufgabenstellung:



Realistische Verhältnisse hätten zur Folge, dass sowohl für den Gasturbinen- als auch für den Ottomotorblock nach jeder Revision keine Rücksetzung auf R(t) = 1 erfolgt, sondern nur auf R(t) ≈ 0,90. Das führt zu einer Verkürzung der berechneten Revisionsintervalle.