S5.1 **Satz**

Der Algorithmus synchronisert wie erwünscht, wenn

$R > 2(1+\rho)(\beta+\varepsilon) + (1+\rho)\max\{\delta, \beta+\varepsilon\} + \rho\delta$ **und**

$R \le \beta/(4\rho) - \varepsilon/\rho - \rho(\beta+\delta+\varepsilon) - 2\beta - \delta - 2\varepsilon$,

woraus als hinreichende Bedingun folgt: $\beta \ge 4\varepsilon + 4\rho(3\beta+\delta+3\varepsilon) + 8\rho^2(\beta+\delta+\varepsilon)$,

also in erster Näherung $\beta \approx 4\varepsilon + 4\rho R$.

Es sei c_p^i die Uhr, die Prozessor p im Intervall T^i bis T_p^{i+1} benutzt.

S5.2 **Satz**

Wenn p und q fehlerfreie Prozessoren sind, dann gilt

$$|c_p^i(T) - c_q^i(T)| \le (\beta + 2\rho(1+\rho)(\beta+\delta+\varepsilon))$$

für $T^0 - (1+\rho)(\beta+\delta+\varepsilon) \le T \le T^0 + (1+\rho)(\beta+\delta+\varepsilon)$ **wenn** $i = 0$ **ist und**

für $T^{i-1} - R - (1+\rho)(\beta+\delta+\varepsilon) \le T \le T^i + (1+\rho)(\beta+\delta+\varepsilon)$ **wenn** $i > 0$ **ist.**

S5.3 **Satz**

Für alle Zeitpunkte ist $|C_p(t) - C_q(t)| \le \gamma$

mit $\gamma = \beta + \varepsilon + \rho(7\beta + 3\delta + 7\varepsilon) + (8\rho^2 + 4\rho^3)(\beta+\delta+\varepsilon)$.

5.3.3 Internet-Synchronisationsprotokoll NTP (Network Time Protocol)

NTP und begleitende Informationen sind im WWW zu finden unter

http://sunsite.cnlab-switch.ch/cgi-bin/search/standard/nph-findstd?scope=rfc

❑ Grundlegende Anforderungen

1. Primäre Zeitreferenzquellen müssen mit der amtlichen Zeit synchronisiert sein. Sie müssen auch Schaltsekunden der UTC berücksichtigen.
2. Die Zeitgeber müssen genaue Zeitangaben liefern, auch wenn die Übertragungszeiten stark schwanken.
3. Das für die Synchronisation genutzte Teilnetz muß verläßlich sein, auch wenn das Netzwerk instabil ist und Verbindungen für mehrere Tage ausfallen.
4. Das Synchronisationsprotokoll muß ständig arbeiten und den Zeitangleich so häufig vornehmen, daß erwartete Frequenzänderungen, z. B. als Folge von Temperaturschwanken, aufgefangen werden können.
5. Das System muß auf der Basis existierender Netze und für das gesamte Rechnerspektrum - vom Arbeitsplatzrechner bis zu Höchstleistungsrechner - funktionieren.

❑ Charakteristische Eigenschaften von NTP

1. Das Teilnetz für die Synchronisation ist ein selbstorganisierendes, hierarchisches Netzwerk von Zeitgebern.
2. Das Synchronisationsprotokoll arbeitet verbindungslos, um Verzögerungen zu minimieren, Implementierungen zu vereinfachen und überall nutzbar zu sein.
3. Das Synchronisationsprotokoll arbeitet symmetrisch. Es toleriert Paketverluste, Paketverdopplungen und Überholung.
4. Das Protokoll basiert auf der Idee der Phase-Locked-Loop.
5. Mehrfach redundante Zeigeber und Transportwege werden benutzt.
6. Der Zusatzaufwand wird mit Hilfe dynamischer Messungen auf ein Mindestmaß reduziert.