

Methodik zur Bewertung von drahtlosen Netzzugangstechnologien für zuverlässige M2M-Anwendungen

Marko Krätzig, Institut für Automation und Kommunikation e.V.
Magdeburg

M. Sc. Björn Czybik, Dipl.-Ing. Lars Dürkop, inIT - Institut für industrielle
Informationstechnik, Hochschule Ostwestfalen-Lippe

1 Kurzfassung

Diverse drahtlose Netzzugangstechnologien werden heutzutage mit sehr hoher Verbreitung genutzt. Ihre grundlegenden Eigenschaften zur Realisierung von automatisierten Anwendungen wurden bisher aber noch nicht hinreichend untersucht und durchdrungen. So berichten Betreiber von M2M-Anwendungen und Hersteller von M2M-Geräten von ungeklärten Effekten in Bezug auf die Verbindungsqualität. Im Rahmen dieses Betrages wird eine einheitliche Methodik für die reproduzierbare Untersuchung und Bewertung der Übertragungseigenschaften von drahtlosen Netzzugangstechnologien vorgestellt.

2 Maschine-zu-Maschine Kommunikation

Der automatisierte Informationsaustausch zwischen elektrotechnischen Geräten wird allgemein als *Maschine-zu-Maschine* (M2M) Kommunikation bezeichnet. Der typische Aufbau einer M2M-Anwendung (siehe Bild 1) besteht aus einem *Datenendpunkt* (DEP), dem *Datenintegrationspunkt* (DIP) und dem verbindenden *Kommunikationsnetz*. Klassische Bereiche der M2M-Kommunikation sind z.B. die *Telemetrie* (Fernmessung), *Fernwartung* und *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Die Anwendungsfelder sind sehr weit gestreut und reichen von wassertechnischen Anlagen, Wettererfassungssystemen, Produktionsprozessüberwachungen bis hin zur Steuerung von Energienetzen und Flottenmanagementsystemen.

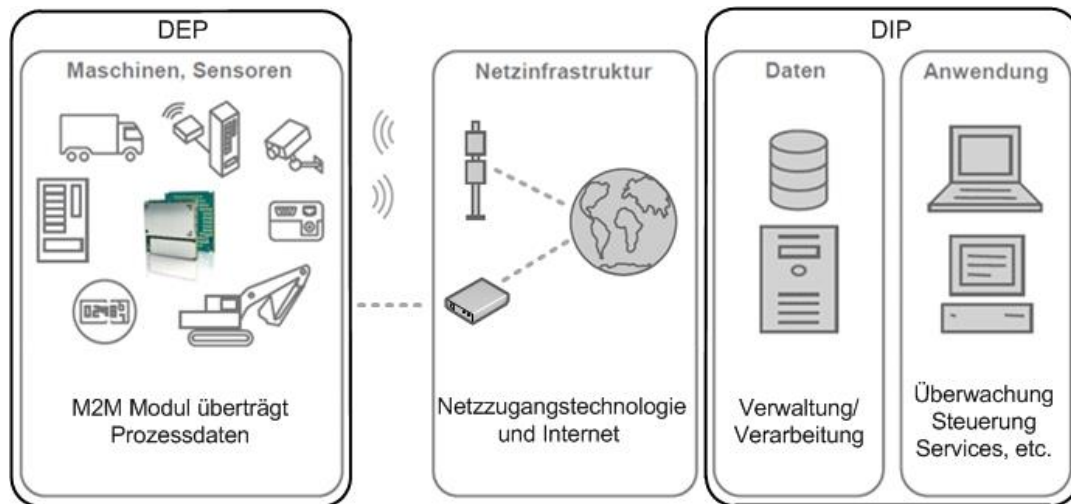


Bild 1: Typischer Aufbau einer M2M Anwendung [1]

Aufgrund der geografischen Entfernung zwischen DEP und DIP wird häufig das Internet als Kommunikationsnetz genutzt, um die Endpunkte zu verbinden. Mit der stark zunehmenden Verbreitung von IP-basierten Kommunikationssystemen für M2M-Anwendungen mit unterschiedlichen Netzzugangstechnologien stellen sich Fragen nach der Zuverlässigkeit und die mit den Protokollen und eingesetzten Technologien verbundenen Risiken. Oft ist bei auftretenden Problemen unklar, ob die Ursache das Protokoll, das Netz, die Komponente oder die jeweilige Konfiguration ist. Bild 2 zeigt die Bestandteile eines M2M-Kommunikationssystems, die eigentliche M2M-Applikation, das Automatisierungsprotokoll, die Zugangnetze und das Internet.

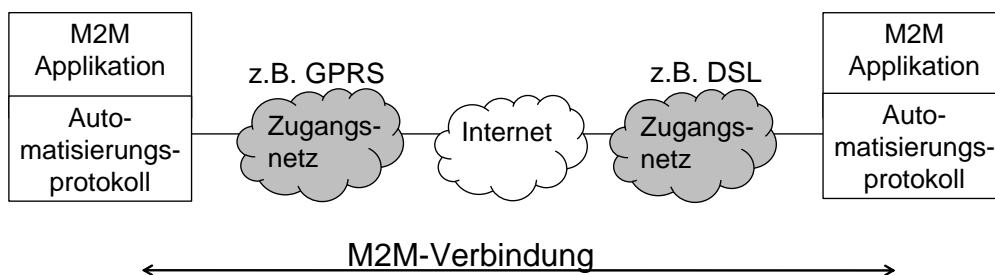


Bild 2: Typische Architektur eines M2M-Kommunikationssystemen

Das Zusammenwirken aller dieser Bestandteile im Rahmen der M2M-Anwendung ist sehr komplex. Eine besondere Rolle nimmt dabei der Netzzugang ein. Als Netzzugang zum Internet kann grundsätzlich zwischen

- drahtgebundenen (z.B. Standleitung, Modem, ISDN, DSL(ADSL,VDSL)) und
- drahtlosen (z.B. GSM,GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, LTE)

Technologien unterschieden werden. Hierbei wird den Mobilfunknetzen als drahtlose Netzzugangstechnologien eine wachsende Bedeutung beigemessen, da zwischenzeitlich zum

einen eine hohe Netzabdeckung und kostengünstige Tarife für die Datendienste, sowie zum anderen entsprechende Schnittstellen für die Integration in Endgeräte zur Verfügung stehen. Seit einiger Zeit findet diese Netzzugangstechnologie auch Einzug in die auf Zuverlässigkeit und Sicherheit ausgerichtete Automatisierungstechnik [2]. So werden beispielsweise im Bereich der Versorgungswirtschaft verteilte Zählerstationen, Brunnen, Pumpen, oder Übergabestationen per GPRS (General Packet Radio Service) an eine zentrale Leitwarte gekoppelt. Neben der Nutzung von VPN (Virtual Private Network) zur Herstellung der notwendigen IT-Sicherheit, werden sowohl herstellerspezifische Fernwirkprotokolle, als auch Protokolle, wie ModBus RTU [3], DNP3, oder die IEC 60870-5 [4] mit ihren unterschiedlichen Anwendernormen (z.B. -104 anwendungsbezogene Norm für Fernwirkaufgaben in IP-Netzen [5]) verwendet. Diese Fernwirkprotokolle wurden jedoch zunächst überwiegend für Standleitungen eingesetzt.

3 Testarchitektur

Damit Netzzugangstechnologien für M2M-Anwendungen aus Sicht der Automation bewertet werden können ist die Entwicklung einheitlicher, universeller und reproduzierbarer Tests notwendig. Folgende Anforderungen an eine solche Methodik müssen erfüllt werden, damit sie Basis für Standardtests sein kann:

- Vorgehen und Ergebnisdarstellung werden in der automatisierungstechnischen Fachwelt akzeptiert.
- Die zu ermittelnden Kenngrößenwerte sind geeignet, die Netzzugangstechnologien mit Bezug auf die automatisierungstechnische Anwendung zu bewerten.
- Die Terminologie orientiert sich an der Automatisierungstechnik. Alle Begriffe sind klar definiert, so dass sie mit gleicher Bedeutung verwendet werden können.
- Die Methodik ist unabhängig von einer spezifischen Netzzugangstechnologie und damit auch auf zukünftige Netzzugangstechnologien anwendbar.
- Alle möglichen Einflussgrößen sind zu erarbeiten, deren Relevanz ist zu prüfen bzw. relevante Wertbereiche sind zu identifizieren.

Bild 3 zeigt diese Abstraktion als Betrachtungsraum für die weiteren Ausführungen.

Eine Testanwendung beinhaltet verteilte Testkomponenten, von denen einige drahtlose Netzzugangstechnologien zur Kommunikation verwenden. Die Schnittstelle zwischen dem M2M-Modul und der verteilten Testanwendung sei mit Anwendungsschnittstelle bezeichnet.

Zur Bewertung der Eigenschaften der Netzzugangstechnologien sind Werte typischer Kenngrößen bezogen auf diese Anwendungsschnittstelle anzugeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Werte dieser Kenngrößen von Einflussgrößen beeinträchtigt

werden, deren Werte von der Automatisierungsanwendung, der M2M-Lösung und dem Verhalten der Netzinfrastruktur abhängen.

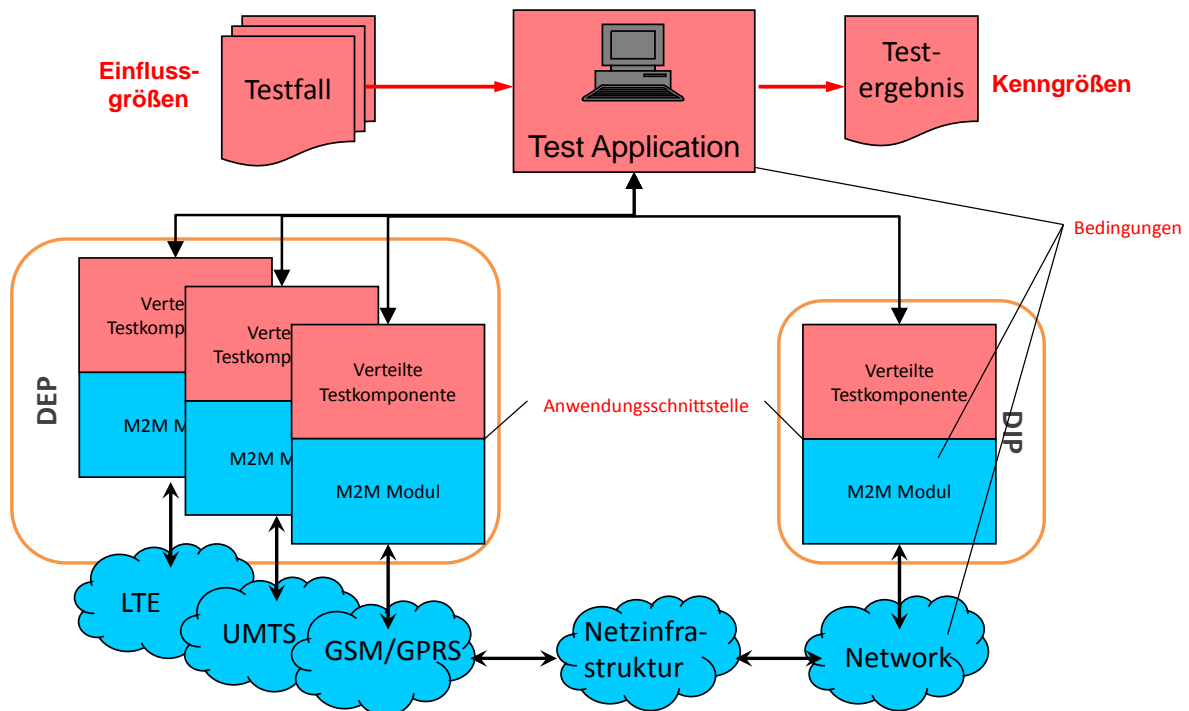


Bild 3: Betrachtungsraum

Daraus lässt sich ein allgemeines Bewertungskriterium ableiten, das eine Netzzugangstechnologien (M2M-Lösung) erfüllen muss, um in einem industriellen Automatisierungssystem eingesetzt werden zu können. Die Frage lautet: „Kann ein Prozesswert der automatisierungstechnischen Anwendung unter definierten Bedingungen, zu definierten Zeitpunkten, an definierten Schnittstellen fehlerfrei zur Verfügung stehen?“ Eine Methode, die diese Bewertung gewährleisten soll, muss also die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** veranschaulichten Aspekte berücksichtigen.

4 Kenngrößen

4.1 Zuverlässigkeit

In [6] ist Zuverlässigkeit definiert als "Zusammenfassender Ausdruck zur Beschreibung der Verfügbarkeit und ihrer Einflussfaktoren Funktionsfähigkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft." Die Zuverlässigkeit ist also selbst keine Kenngröße, die durch Messung ermittelt werden kann.

Die Verfügbarkeit ist in [6] definiert als "Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls eine geforderte Funktion unter gegebenen

Bedingungen erfüllen zu können, vorausgesetzt, dass die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind." Angewandt auf die M2M-Kommunikation ist es die Fähigkeit einer M2M-Lösung Nutzdaten von einem Producer (DEP oder DIP) zu einem Consumer (DEP oder DIP) zu übertragen. Zur geforderten Funktion gehört auch, dass die Daten durch die M2M-Übertragung nicht verändert werden, also fehlerfrei den Consumer (DEP oder DIP) erreichen. Und schließlich gehört zur geforderten Funktion, dass die Daten innerhalb einer bestimmten Zeit oder zu einem geforderten Zeitpunkt den Consumer (DEP oder DIP) erreichen.

Die gegebenen Bedingungen, für die die Funktion gefordert wird, können mithilfe der in [6] definierten Einflussgrößen beschrieben werden. Neben der Funktionsfähigkeit, also der "Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für ein gegebenes Zeitintervall zu erfüllen." [6], wird die Instandhaltbarkeit als weiterer Einflussfaktor auf die Verfügbarkeit genannt.

Die Instandhaltbarkeit ist in [6], definiert als "Fähigkeit einer Einheit, unter gegebenen Anwendungsbedingungen in einem Zustand erhalten bzw. in ihn zurückversetzt werden zu können, in dem sie eine geforderte Funktion erfüllen kann, wobei vorausgesetzt wird, dass die Instandhaltung unter den gegebenen Bedingungen mit den vorgeschriebenen Verfahren und Hilfsmitteln durchgeführt wird." Für die M2M-Kommunikation bedeutet das, dass Verfahren vorgesehen sind, die den gewünschten Zustand und Abweichungen davon erkennen und Maßnahmen, die automatisch den Zustand wieder herstellen, in dem die geforderte Funktion erfüllt wird, durchführen. Für die in der Industrie eingesetzten M2M-Lösungen kann davon ausgegangen werden, dass diese Verfahren und Maßnahmen implementiert sind. Beispiele sind Forward Error Correction, Cyclic Redundancy Check, Acknowledgments, Wiederholung der Übertragung oder Mehrfachübertragung.

Die Instandhaltungsbereitschaft ist in [6] definiert als "Fähigkeit einer Instandhaltungsorganisation, unter gegebenen Bedingungen bei Bedarf die Mittel bereitzustellen, die für die Instandhaltung einer Einheit unter Beachtung der festgelegten Instandhaltungsgrundsätze erforderlich sind." Dieser Aspekt der Verfügbarkeit betrifft die Diagnose bei anhaltenden Fehlern bzw. die Wartung, beispielsweise den Batteriewechsel.

In diesem Dokument wird eine Kenngröße abgeleitet, die die Fähigkeit einer M2M-Lösung, die geforderte Funktion erfüllen zu können, quantifiziert und damit bewertbar macht.

4.2 Zeitkenngrößen

In diesem Abschnitt werden die Zeitkenngrößen "One-Way Delay" nach RFC 2679 [8] und "Round-Trip Delay" nach RFC 2681 [10] vorgestellt. Diese eignen sich sehr gut zur Bewertung

von drahtlosen Netzzugangstechnologien für zuverlässige M2M-Anwendungen. Gemäß der Definition in RFC 2679 [8] ist die Zeitkenngroße „One-Way Delay“ sehr wichtig, da:

- einige M2M-Anwendungen nicht sehr gut funktionieren, wenn die End-zu-Ende-Verzögerung relative groß ist zu einem Grenzwert der automatisierungstechnischen Anwendung
- unvorhersehbare Abweichungen bei der Verzögerung Echtzeitanwendungen schwierig bis unmöglich machen
- große Wert der Zeitkenngroßen ein Problem für Standard Transport-Layer Protokolle sind

Eine allgemeine Definition der Verzögerung, gemäß der RFC 2679 [8] und RFC 2681 [10], ist die Zeit zwischen dem ersten Teil (z.B.: erstes Bit) eines Objektes (z.B.: Paket), welches einen Betrachtungspunkt durchläuft und dem letzten Teil (z.B.: letztes Bit) dieses Objektes oder ein zugehöriges Objektes (z.B. Antwortpaket), welches einen zweiten Betrachtungspunkt oder denselben Betrachtungspunkt durchläuft.

4.2.1 One-Way Delay

Die Kenngröße „One-Way Delay“ ist sehr wichtig, da eine Vielzahl von Netzzugangstechnologien für M2M-Anwendungen asymmetrische Übertragungstrecken verwenden oder die Servicequalität von der Übertragungsrichtung abhängig ist.

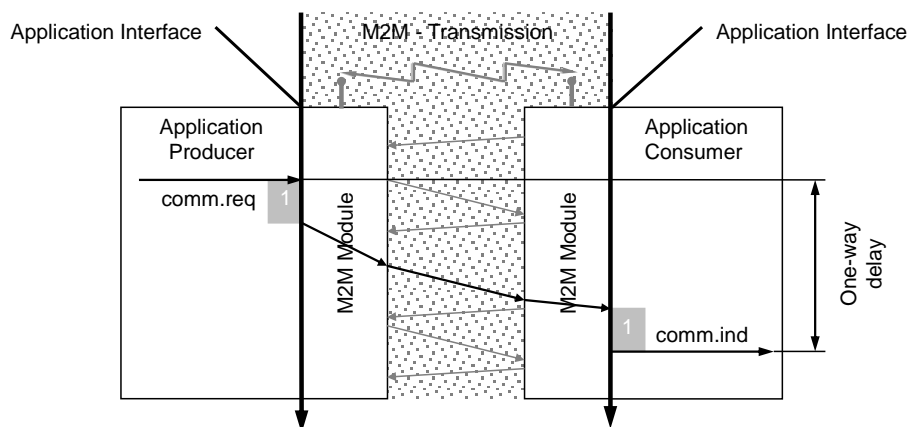


Bild 4: Definition der Kenngröße „One-Way Delay“

Die Kenngröße „One-Way Delay“ wird nach dem Producer-Consumer-Modell ermittelt. Der Producer übergibt in einem definierten Sendezeitabstand ein Testpaket an die Anwendungsschnittstelle. In diesem Testpaket ist ein Zeitstempel enthalten, welcher der Startzeit der Paketübertragung (erstes Bit des Testpaketes an der Anwendungsschnittstelle)

entspricht. Am Consumer wird die Kenngröße „One-Way Delay“ aus der Empfangszeit des Paketes (letztes Bit des Testpaketes an der Anwendungsschnittstelle des Consumers) und der Startzeit der Paketübertragung, welche im übertragenen Zeitstempel enthalten ist, ermittelt. Für die Messung bedeutet es, dass die Uhren des Producer und Consumer sehr genau synchronisiert sein müssen. Wenn Testpakete nicht innerhalb einer anwendungsbedingten Zeit am Consumer empfangen werden, so müssen dieses Paket als verloren gewertet werden.

4.2.2 Round-Trip Delay

Im Prinzip entspricht die Kenngröße „Round-Trip Delay“ der Kenngröße (One-Way Delay) für beide Übertragungsrichtungen. Die Kenngröße „Round-Trip Delay“ wird nach dem Client-Server-Model ermittelt und ist der Zeitabschnitt vom Beginn der Initiierung eines Requests an der Anwendungsschnittstelle eines Clients bis zur Identifizierung der Confirmation an der Anwendungsschnittstelle desselben Clients, die dem Request zugeordnet werden kann. Das heißt, die Kenngröße „Round-trip Delay“ setzt sich aus mindestens einer Übertragungszeit (One-Way Delay) zwischen Client und Server und einer Übertragungszeit (One-Way Delay) zwischen Server und Client zusammen. Hinzu kommt die Bearbeitungszeit im Server.

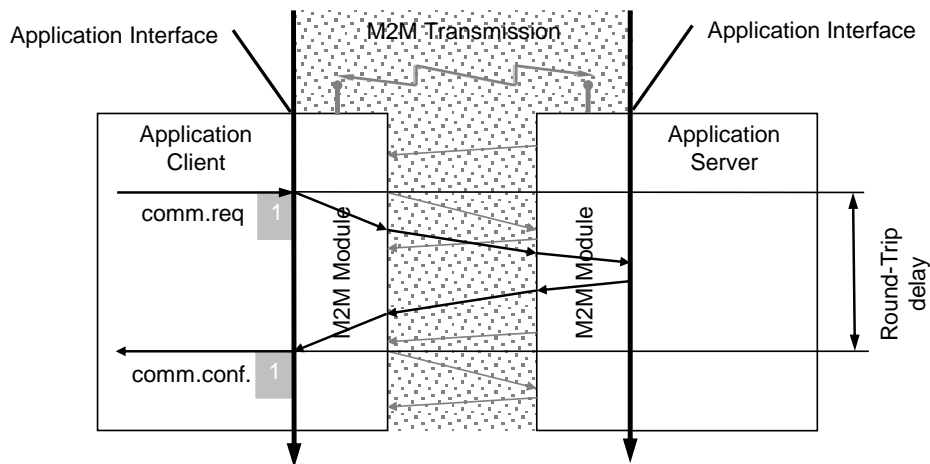


Bild 5: Definition der Kenngröße „Round-Trip Delay“

4.3 Kenngrößen für Paketverluste

Von einem Sender werden Pakete ausgesendet und manche dieser Pakete gehen verloren, also werden sie am Zielort nicht empfangen. Bei einzelnen Paketverlusten hat dies meist nur eine geringe Auswirkung auf die M2M-Anwendung, aber der Verlust von mehreren Paketen oder wiederholte Paketverluste können einen signifikanten Einfluss haben. Aus diesem Grund sind die statistischen Eigenschaften von Paketverlusten interessant für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Netzzugangstechnologien.

4.3.1 Anzahl korrekt empfangener Pakete

Ein Paket p_{Rxi} gilt zunächst als empfangen, wenn es an der Anwendungsschnittstelle des Consumer an die Anwendung übergeben wurde. Da es allerdings zu Verfälschungen des Inhalts und zu Paketwiederholungen kommen kann, die nicht durch die Fehlersicherungsmechanismen der M2M-Lösung identifiziert und beseitigt werden, sind die empfangenen Pakete daraufhin zu prüfen. Außerdem gehört die Rechtzeitigkeit zu den Bedingungen eines korrekt empfangenen Paketes. Deshalb werden bei der nachfolgend aufgeführten Bestimmung der korrekt empfangenen Pakete der Dateninhalt (Data content: DC), die Reihenfolge (Sequence number: SN) und die Übertragungszeit T_{TTi} eines empfangenen Paketes berücksichtigt.

$$N_{Rx} = \sum_{i=1}^{N_{Tx}} c(p_{Rxi}) \quad (1)$$

N_{Rx} bezeichnet demzufolge die Anzahl korrekt empfangener Pakete, für die gilt:

- Der Dateninhalt stimmt mit dem Dateninhalt des gesendeten Paketes überein. Es liegen keine Bitfehler bzw. Symbolfehler vor.
- Die Reihenfolge der empfangenen Pakete muss mit der Reihenfolge der gesendeten Pakete identisch sein. Überholte Pakete werden somit als Verlust gewertet.
- Die Übertragungszeit muss kleiner als eine maximale Übertragungszeit sein.

4.3.2 Anzahl verlorener Pakete

Der triviale Fall dafür, dass ein Paket als verloren gilt, ist, dass ein an der Anwendungsschnittstelle des Producer übergebenes Paket nicht an der Anwendungsschnittstelle des Consumer übergeben wird. Allerdings gilt im Rahmen dieser Betrachtung auch ein empfangenes Paket p_{Rxi} als verloren, wenn dessen Übertragungszeit T_{TTi} über einem definierten Maximalwert T_{TTmax} liegt. Des Weiteren wird bei Paketvertauschungen das verspätete Paket als Verlust gewertet, selbst wenn es den Maximalwert T_{TTmax} nicht überschritten hat.

Die Anzahl verlorener Pakete (Number of lost packets: N_{PL}) ergibt sich damit wie folgt:

$$N_{PL} = \sum_{i=1}^{N_{Tx}} l(p_{Rxi}) \text{ mit } \begin{cases} l(p_{Rxi}) = 1, t_{TT}(p_{Rxi}) > t_{TTmax} \\ l(p_{Rxi}) = 1, \sum_{j=1}^i t_{TI}(p_{Rkj}) < \sum_{k=1}^{i-1} t_{TI}(p_{Rsk}) \\ l(p_{Rxi}) = 0, \text{sonst} \end{cases} \quad (2)$$

4.3.3 Verfügbarkeit

Wie bereits oben ausgeführt ist die Verfügbarkeit (Availability: A) ein Maß für die Fähigkeit einer Einheit, während eines gegebenen Zeitintervalls eine geforderte Funktion zu erfüllen. Angewandt auf die Funktion einer Funklösung ist die Verfügbarkeit (Availability: A) das Verhältnis der Zeit der fehlerfreien Datenübertragung (Uptime: t_U) zu einem Betrachtungszeitraum (Observation time: t_O):

$$A = \frac{t_U}{t_O} \quad (3)$$

Unter der Annahme, dass der Producer im Betrachtungszeitraum t_O eine Anzahl Pakete (Number of transmitted Packets: N_{TX}) periodisch mit einem Sendezeitintervall (Transmission interval: t_{TI}) versendet und dass das Funksystem für jedes empfangene Paket für die Zeit des Sendezeitintervalls als fehlerfrei gilt, kann die Verfügbarkeit wie folgt bestimmt werden:

$$A = \frac{N_{Rx} t_{TI}}{N_{TX} t_{TI}} = \frac{N_{Rx}}{N_{TX}} \quad (4)$$

Für jeden beliebigen Betrachtungszeitraum t_{O_i} kann die Abhängigkeit der Verfügbarkeit a_i von gestörten Übertragungen (Number of lost Packets: N_{PL}) wie folgt dargestellt werden:

$$a_i(t_{O_i}) = \frac{\Delta N_{Rxi}}{\Delta N_{TXi}} = \frac{\Delta(N_{TXi} - N_{PLi})}{N_{TXi}} = 1 - \frac{\Delta N_{PLi}}{\Delta N_{TXi}} = 1 - \frac{\Delta N_{PLi} t_{TI}}{\Delta N_{TXi} t_{TI}} = 1 - \Delta N_{PLi} \frac{t_{TI}}{\Delta t_{O_i}} \quad (5)$$

Die Darstellung in Formel (5) verdeutlicht, dass das Verhältnis zwischen Sendezeitintervall und Betrachtungszeitraum von Bedeutung ist. Je weiter sich der Betrachtungszeitraum dem Sendezeitintervall nähert, umso stärker wirken sich Paketverluste negativ auf die Verfügbarkeit aus. Andererseits können bei einem langen Betrachtungszeitraum gehäufte Paketverluste und damit zeitlich begrenzte Einbrüche der Verfügbarkeit nicht erkannt werden.

4.3.4 Paketverlustrate

Oft wird statt der Verfügbarkeit die Paketverlustrate (PLR) zur Bewertung eines Kommunikationssystems herangezogen. Mit Bezug auf Formel (4) und Formel (5) kann sie wie folgt ermittelt werden:

$$PLR = \frac{N_{PL}}{N_{TX}} = \frac{N_{TX} - N_{Rx}}{N_{TX}} = 1 - A \quad (6)$$

5 Literaturverzeichnis

- [1] Denzin, F.: "M2M im GSM-Netz: Anforderungen an Mobilfunkterminals". M2M Kompetenztag, 2010
- [2] Barelmann, D.: "GPRS in der Fernwirk- und Automatisierungstechnik". etz, Heft 1/2007
- [3] Stuckmann, P.; Franke, J.: "Performance characteristics of the Enhanced General Packet Radio Service for the mobile Internet access". 2nd International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, 2001
- [4] IEC 60870-5, "Communication Profile Telecontrol Equipment and Systems". Technical Committee 57, International Electrotechnical Commission, 1997
- [5] IEC 60870-5-104, "Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles". International Electrotechnical Commission, 2000
- [6] VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung, Arbeitsgruppe Terminologie: VDI 4001 Terminologie der Zuverlässigkeit, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2006
- [7] RFC2678: IPPM Metrics for Measuring Connectivity
- [8] RFC2679: A One-way Delay Metric for IPPM
- [9] RFC2680: A One-way Packet Loss Metric for IPPM
- [10] RFC2681: A Round-trip Delay Metric for IPPM