

# Effizienz und Zuverlässigkeit – zwei Seiten derselben Medaille



In der alltäglichen Wahrnehmung gelten besonders leistungsstarke Systeme als eher empfindlich, wohingegen besonders robuste Systeme meist nicht besonders schnell sind. Dabei sind effiziente Motoren genauso robust wie verbrauchsintensive, und leistungsfähige Digitalkameras sind sogar robuster als so manches mechanische Gerät. Gerade Ethernet ist ein gutes Beispiel dafür, wie technologischer Fortschritt mit hoher Robustheit einhergeht. Die Annahme, hohe Effizienz führe im Fehlerfall zu einer Destabilisierung des Systems, trifft in vielerlei Hinsicht nicht zu. Wie sich dies hinsichtlich der darüberliegenden Protokollschichten verhält, wird nachfolgend erläutert.

In der industriellen Kommunikation gibt es vielfältige Effekte, die sich unterschiedlich auf Fehlersituationen auswirken. Was wann wo und aus welchem Grund passiert, bildet die Kernfrage, welche im Fehlerfall kurzfristig beantwortet werden muss, jedoch nicht immer so einfach beantwortet werden kann. Auf der anderen Seite muss man die Datenkonsistenz im Blick behalten, wenn man sich mit Fehlerfällen befasst.

In vielen Applikationen ist Ethernet sehr populär geworden. Die Robustheit der physikalischen Datenübertragung mit 100 MBit/s (Fast-Ethernet) hat sich im industriellen Feld erfolgreich bewährt. Zur Diskussion steht daher vielmehr die Effizienz der Protokollschichten oberhalb der physikalischen Ebene bezogen auf die Zuverlässigkeit.

## Einzelne Frames für jedes I/O bedeuten großer Overhead und hohe Frame-Fehlerrate

Ein Ansatz zur Evaluierung ist hier die Untersuchung des Protokoll-Overheads. Nutzt man für jeden Netzwerkteilnehmer einen individuellen Ethernet-Frame, ergibt sich ein deutlicher Overhead. Denn selbst bei minimaler Frame-Größe müssen insgesamt 84 Byte (Abb. 1) versendet werden, wobei die typische Nutzlast bei Feldbussen kleiner als 8 Byte ist (bei CAN z. B. zwischen 1 und 8). Dies verursacht einen Overhead von mehr als 90 %.

Der gewöhnliche Aufbau einer Maschine zeigt für das Kommunikationssystem eine lineare Topologie, wobei die Fast-Ethernet-Infrastruktur das aktive Koppeln der Schnittstellen erfordert. Das Koppeln erfolgt durch ein sogenanntes

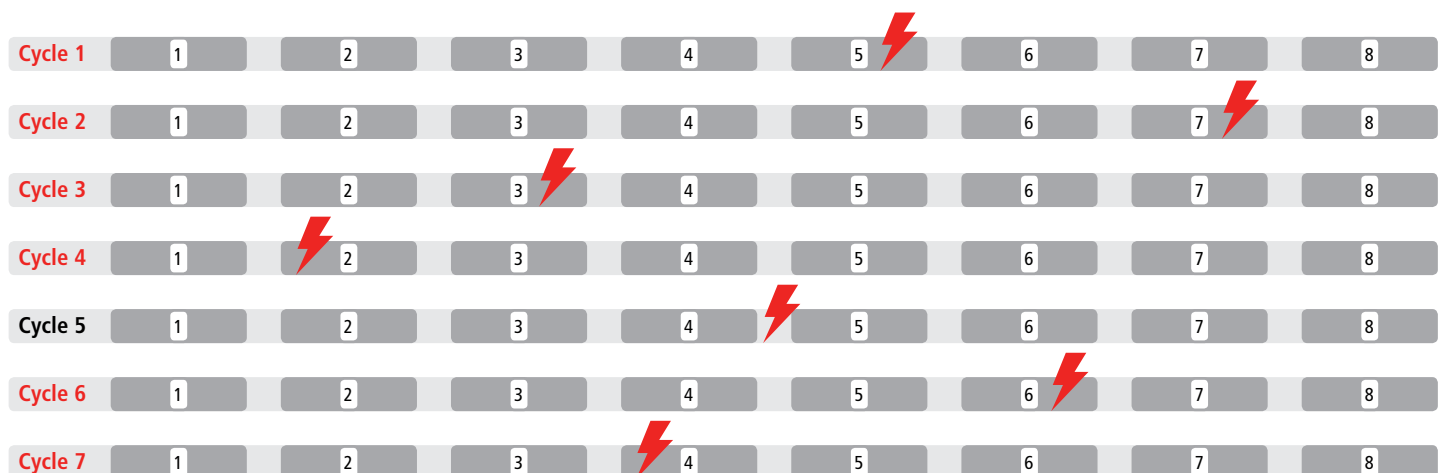


Abb. 1: Ein zufälliger Zyklusfehler beeinträchtigt den individuellen Frame in sechs von sieben Fällen.

Bridged-LAN, auch bekannt als Switched-Ethernet, wobei die Switches hier oft integraler Bestandteil der Netzwerkknoten wie z. B. I/O-Geräte oder Antriebe sind. Da sämtliche Frames ohnehin in jedem Knoten verarbeitet werden, kann man alternativ auch die gesamte Nutzdateninformation in einem gemeinsamen Frame sammeln und – wie bei EtherCAT – im Durchlauf verarbeiten. Diese Art, das Protokoll zu verarbeiten, kann als Shared-Frame-Lösung bezeichnet werden (Abb. 2). Das Ergebnis ist ein Overhead von weniger als 50 %, selbst wenn die Anzahl der verbundenen Elemente bzw. Netzwerkknoten gering ist. Liegt die Gesamtnutzlast des Systems über 400 Byte, beträgt der Overhead bei der Shared-Frame-Lösung weniger als 10 %.

Auch wenn der Physical Layer (PhL) bei Ethernet generell robust ist, können z. B. starke elektromagnetische Störsignale zu Kommunikationsfehlern führen. Vergleicht man die Auswirkungen solcher Störungen beim herkömmlichen, individuellen Frame-Ansatz mit denen beim Shared-Frame-Prinzip, erkennt man bei letzterem eine weit geringere Fehlerwahrscheinlichkeit innerhalb eines Netzwerkzyklus.

Zwar können die meisten vernetzten Applikationen einen einzelnen Fehler mitunter unbeschadet überwinden, folgen jedoch zwei Fehler direkt aufeinander, entsteht bereits eine kritische Situation. Folglich korreliert das Verhältnis zwischen Kommunikationsfehlern pro Zyklus mit den kritischen Situationen. Bezogen auf das beschriebene, recht realistische Beispiel bedeutet dies eine weit höhere Anzahl beschädigter Frames beim individuellen Frame-Ansatz

verglichen mit der Shared-Frame-Lösung, da letztere nur ca. ein Sechstel der Übertragungszeit nutzt. Folglich beeinflusst die Störung auch nur in einem von sechs Fällen den gemeinsamen Frame.

### Anzahl fehlerhafter Bits ohne Einfluss auf die Verarbeitungsqualität

In Motion-Control-Anwendungen werden anspruchsvolle Algorithmen verwendet, um den Sollwert und die Istwerte im Fall eines einzelnen Kommunikationsfehlers zu interpolieren. Der individuelle Frame-Ansatz führt zu schwer vorhersehbaren Ergebnissen, besonders dann, wenn mehrere Achsen gekoppelt sind. Demnach resultiert aus der weit höheren Rate fehlerhafter Zyklen bei diesem Ansatz eine ganze Reihe von kaskadierten und damit kritischen Situationen. Zudem erhöht die geringe Effizienz dieser Lösung von rund 10 % die Rate fehlerhafter Zyklen zusätzlich und macht eine zuverlässige Steuerung der Anwendung deutlich schwieriger.

Ebenfalls auf Bewegung bezogen ist die Frage nach der Regelung von Geschwindigkeit und Position. In Bezug auf die Position ist die Kontrolle eines Werts weit kritischer als in Bezug auf die Geschwindigkeit mit nur kleinen, inkrementellen Änderungen. Eine vorangehende Planung von Interaktionen im Fehlerfall kann hier helfen. Und auch das Programmierer-Motto „Behalte Werte, solange sich nichts ändert“ hilft, die Auswirkungen von Fehlern grundsätzlich zu verringern sowie gebündelte Fehler zu verhindern.

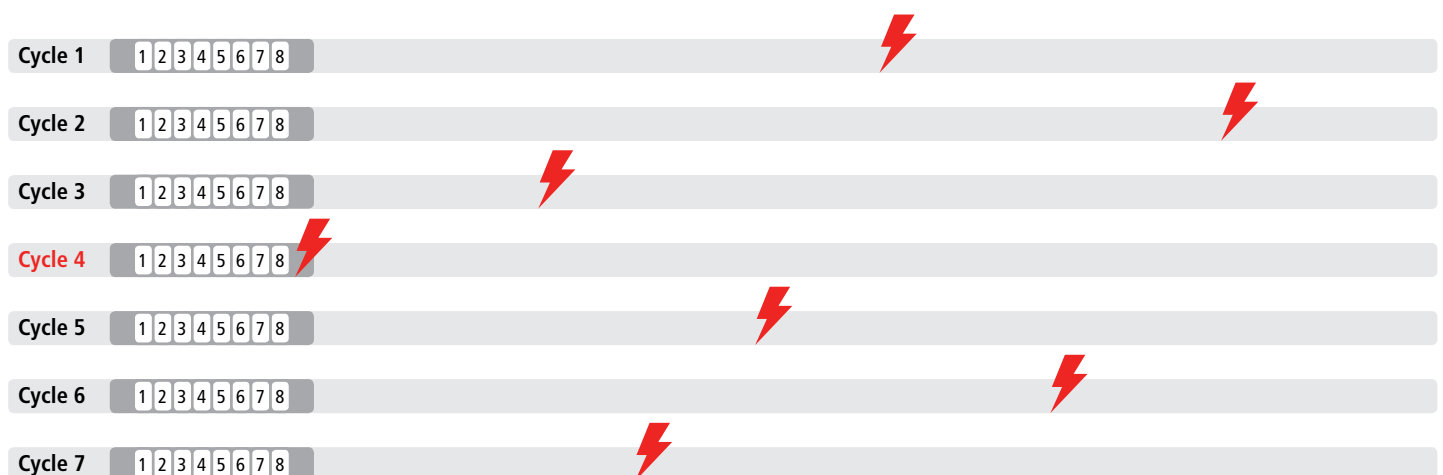


Abb. 2: Ein zufälliger Zyklusfehler beeinträchtigt den Frame beim Shared-Frame-Prinzip in einem von sieben Fällen.

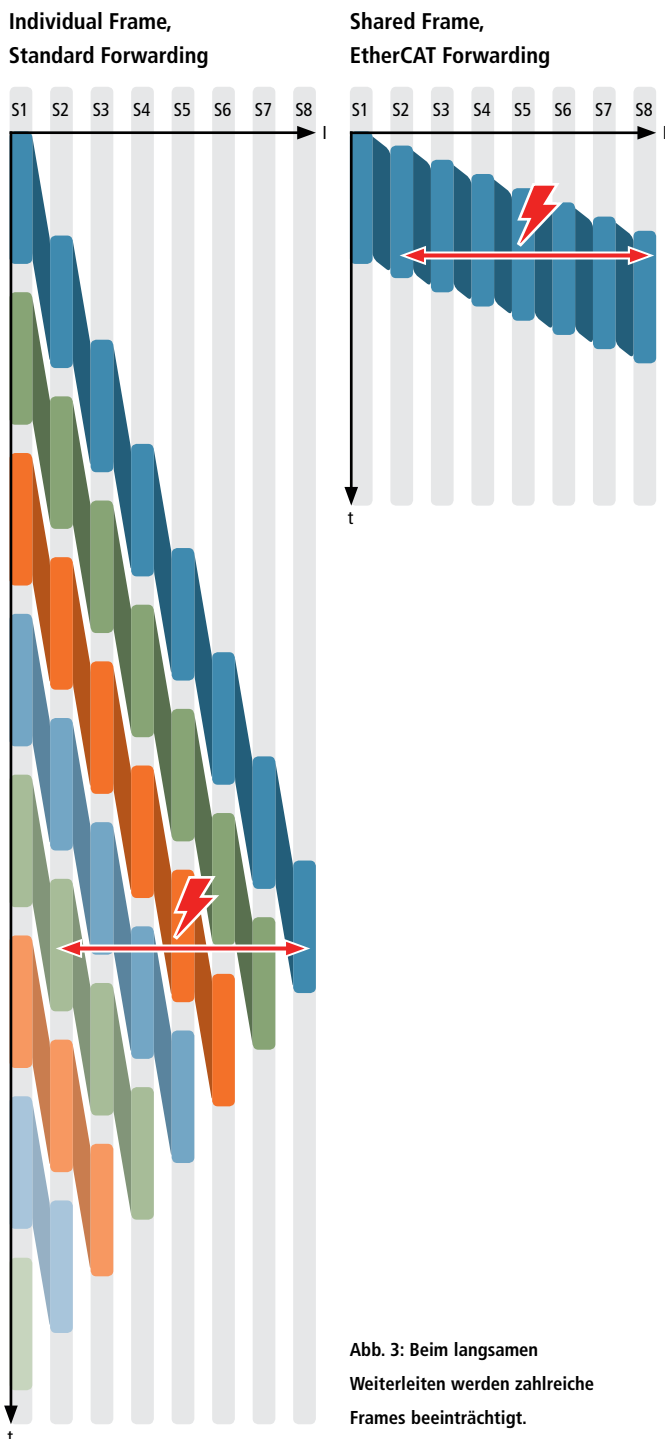


Abb. 3: Beim langsamen Weiterleiten werden zahlreiche Frames beeinträchtigt.

Die genannten Umstände zeigen, dass keine direkte Abhängigkeit zwischen der Anzahl von Fehlern in einem Zyklus und dem aus ihnen resultierenden Steuerungsfehler besteht. Vielmehr können einzelne Fehler sogar kritischer sein als gebündelte.

### Individueller Frame-Ansatz kann mehrere Fehler nicht verhindern

Ein weiteres Problem bei der Lösung mit einzelnen Frames für jeden Knoten ist die Isolierung von Fehlern. Grundsätzlich wird bei Ethernet die Übertragung von Störungen vermieden, da jede Verbindung von einem speziellen Transceiver kontrolliert wird. Zwar ist der PhL beim heutigen Ethernet kein Bus, sondern eine Ansammlung von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Dennoch kann es zu Fehlern kommen – beispielsweise aufgrund von Störungen in der Stromversorgung, die sich auf mehrere Knoten gleichzeitig auswirken können. Eine vergleichbare Fehlerquelle findet sich auch in einer schlechten Anbindung an den Schutzleiter, sofern die direkte Schirmungsmethode genutzt wird. EtherCAT empfiehlt diese nicht, doch da sie von manchen Konsortien vorgeschrieben wird, müssen vor allem Multiprotokollgeräte diesem Ansatz folgen und dürfen keine alternativen Methoden verwenden. Da die Erdung von Schaltschränken manchmal schlechter ist als erwartet, kann es auf dem Schirm zu Störungen kommen, wo verschiedene Abschnitte der Verkabelung zusammengeführt werden. In einem solchen Fall gestaltet sich die Diagnose sehr schwierig, weshalb diese Art der Störungsübertragung nach Möglichkeit vermieden werden sollte.

Verwendet man wie bei EtherCAT gemeinsame Frames, wirkt sich eine solche Störungsübertragung lediglich mehrfach auf denselben Frame aus.

Im Fall kurzer individueller Frames mit der typischen Switch-Weiterleitungsmethode, die vom IEEE-Standard definiert wird und für gewöhnlich mindestens zehnmal langsamer ist als die von EtherCAT zur Weiterleitung benötigte Zeit, werden mehrere Frames gleichzeitig auf verschiedene Netzwerkteilnehmer übertragen. Hierbei entsteht ein großer zeitlicher Versatz, sodass bei einer Störungsübertragung mehrere unterschiedliche Frames betroffen sind. Dabei können unter Umständen Daten aus verschiedenen Zyklen bzw. verschiedene Kommunikationsarten betroffen sein. Aus diesem Grund ist hier die Störungsübertragung ein sehr kritischer Faktor, der nahezu immer eine Art Domino-Effekt nach sich zieht.

Bei EtherCAT dagegen sind die Weiterleitungszeiten so kurz, dass auch eine Störung am Anfang eines Frames nicht noch das Ende eines vorherigen Frames in der Nachbarschaft betreffen kann.

Wenn mehrere einzelne Frames beeinträchtigt sind, ist auch der resultierende Fehlertyp nur schwer vorauszusehen. So sind manche Eingangsdaten neu,



Dr. Karl Weber,  
Senior Technology Expert



EtherCAT

andere hingegen schon veraltet. Die Folgerung, dass es bei dieser Methode lediglich einzelne Fehler gibt, ist demnach nicht haltbar. Vielmehr erfordert sie eine besonders ausgeklügelte, komplexe Fehlerbehandlungsstrategie.

Zudem übertragen die meisten Switches/Bridges erst, wenn sie einen Frame korrekt empfangen haben (store and forward). Das sorgt für unterschiedliche Frames an jeder Schnittstelle und hat zur Folge, dass die Störungsübertragung eine hohe Anzahl an Frames beeinflusst.

#### Feedback kann die Fehlerbehandlung beschleunigen

Aus Gründen der Effizienz liefern Ansätze mit individuellen Frames generell kein umgehendes Feedback. Ein direktes Feedback zum Update der Ausgangsdaten würde eine Weiterleitung von der Steuerung zum Feldgerät und wieder zurück erfordern. Diese Duplikation der Weiterleitungszeit wäre dann auch ein limitierender Faktor für die Zykluszeit. Folglich ist die Reaktion auf den Verlust individueller Ausgangs-Frames auf die einzelnen Komponenten beschränkt – ohne direkte Benachrichtigung der Steuerungseinheit. In dieser Situation können von der Steuerung keine Maßnahmen eingeleitet werden. Der früheste Zeitpunkt, zu dem ein solcher Fehler gemeldet werden kann, folgt erst einen Eingangszyklus später. Bis der Fehler-Timeout ausgelöst wird, benötigt das System normalerweise drei Zyklen.

EtherCAT hingegen arbeitet mit einem direkten Feedback der Geräte im Netzwerk. Aufgrund der schnellen Weiterleitungen erscheinen die Eingangsdaten in der Steuerung direkt nachdem die Ausgangsdaten übertragen wurden. Für den Fall, dass ein Feedback ausbleibt, kann die Steuerung sofort entsprechende Maßnahmen ergreifen und aufgrund der sehr geringen Weiterleitungsvarianz ist ein präzises Timeout möglich.

Daher agiert EtherCAT prinzipiell wie ein klassischer Feldbus, bei dem eine Wiederholung sofort veranlasst werden kann. Da letzteres jedoch die Fehlerbehandlung innerhalb der Steuerung komplexer macht und die Verfügbarkeit aktueller Prozessdaten wünschenswerter ist, als Bandbreite (bei EtherCAT nur etwa 15 %) sowie Prozessorleistung für das Reparieren veralteter Prozessdaten zu verschwenden, strebt EtherCAT lieber kurze Zykluszeiten an. Dies reduziert zudem gleichzeitig die Auswirkungen möglicher Fehler.

#### Höhere Effizienz für kürzere Zykluszeiten und bessere Fehlerbehebung

Verglichen mit Lösungen, die auf individuelle Frames setzen, werden mit EtherCAT deutlich kürzere Zykluszeiten erreicht (im Beispiel Faktor 6). Dies führt zu einer viel höheren Genauigkeit sowie zu einer gesteigerten Robustheit der Verarbeitung (Abb. 4). Daraus ergibt sich wiederum eine deutlich höhere

#### EtherCAT provides immediate feedback

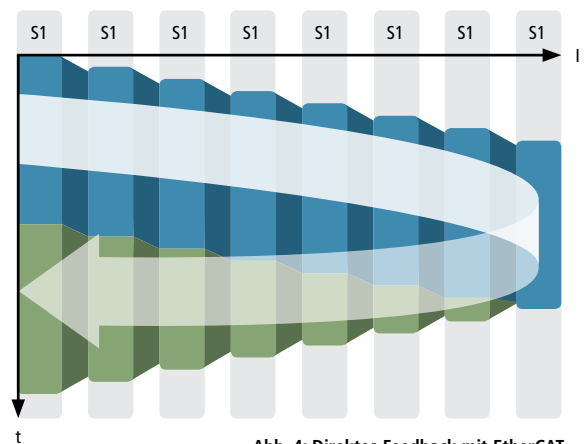


Abb. 4: Direktes Feedback mit EtherCAT

Produktqualität sowie eine schnellere Fehlerreaktion. Der Weg über die kürzere Zykluszeit ist ein gutes Mittel, sogar im Fehlerfall die Produktqualität weiterhin zu verbessern. Und treten keine Fehler auf, wird die Qualität entsprechend nochmals besser. EtherCAT bietet also die besten Voraussetzungen, selbst in gestörten Umgebungen erfolgreich agieren zu können.

#### Fazit

Zusammengefasst bildet der EtherCAT-Ansatz auch die Basis für ein zuverlässiges Netzwerk-Design. Die niedrigere Bandbreitenbesetzung führt zu einer geringeren Fehlerfrequenz und die schnelle Weiterleitung der Frames vermeidet Störungsübertragungen. Durch die Punkt-zu-Punkt-Verbindung über Ethernet werden Reflexionen sowie andere Störeinflüsse vermieden. Dies macht die Kommunikation zuverlässiger, da die Fehlerwahrscheinlichkeit gering ist und der Ort, an dem ein Fehler auftritt, leicht ermittelt werden kann.

Zudem kann die Zuverlässigkeit eines Systems sowohl durch die geringere Protokollkomplexität als auch durch das geringere Frame-Aufkommen auf den Kommunikationsverbindungen positiv beeinflusst werden. Klares Design ist die Basis für eine gute Steuerung des Systems – obligatorisch für dessen Langlebigkeit. Damit bestätigt EtherCAT das fundamentale Prinzip der Automatisierungstechnik: Effizienz und Zuverlässigkeit sind zwei Seiten derselben Medaille.

weitere Infos unter:

[www.ethercat.org](http://www.ethercat.org)