



**CONNECT AND PROTECT**

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

Whitepaper

  
nvent

**SCHROFF**

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

## INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1. Einleitung: Marktanforderungen an PXI Express</b> .....	<b>3</b>
<b>2. PXI Express – Modularer Ansatz</b> .....	<b>3</b>
2.1 Anforderungen an ein PXI Express-Chassis .....	3
2.2 Vorteile eines modularen PXI-Express-Chassis .....	3
<b>3. PXI Express-Chassis nach dem Baukasten-Prinzip aufbauen</b> .....	<b>4</b>
3.1 Mechanisches Gehäuse.....	4
3.2 Stromversorgung.....	5
3.3 Kühlung.....	5
3.4 Backplane.....	6
<b>4. PXI Express Chassis – Funktionsmodule</b> .....	<b>7</b>
4.1 PXI Express Clock-Modul .....	7
4.2 PCI Express Switch-Modul .....	8
4.3 PCI Express to PCI Bridge-Modul.....	9
4.4 Trigger Bridge-Modul .....	9
<b>5. Fazit</b> .....	<b>9</b>
Autor.....	10
Über ENCLOSURES.....	10
ÜBER nVent.....	10

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

## 1. EINLEITUNG: MARKTANFORDERUNGEN AN PXI EXPRESS

Die offene Industriepattform PXI-Express, verabschiedet von der PXI Systems Alliance, ist eine Weiterentwicklung der PXI-Plattform, die den PCI Express-Bus und CompactPCI Express-Formfaktor nutzt. Eingesetzt wird dieser hauptsächlich für eine breite Palette von leistungsstarken, PC-basierenden Test- und Messanwendungen in Industrie, Forschung und Entwicklung.

PXI-Express basiert auf der PC-Architektur und wurde speziell für Mess- und Automatisierungs-Systeme mit höchsten Anforderungen an Synchronisation der Messkarten und Flexibilität sowie Erweiterbarkeit des Messsystems definiert. Die wesentlichen Neuerungen, verglichen mit PXI sind die höheren Datenübertragungsraten, die erweiterten Timing- und

Synchronisationsfunktionen und die Abwärtskompatibilität. Durch diese Weiterentwicklungen ist ein stetig wachsender Anteil an PXI-Express Systemen zu beobachten. Zudem gibt es seit Jahren eine vermehrte Tendenz zur Individualisierung und Wiedererkennung von Systemen. Diese beiden Entwicklungen führen zu einem Bedarf an kundenspezifischen PXI-Express Systemen und verlangen von Herstellern ein hohes Maß an Flexibilität.

Das vorliegende White Paper erklärt, wie man mit einem geringem Aufwand ein funktionsfähiges PXI Express Chassis zusammenstellt, um den Marktanforderungen nach höherer Datenübertragung und Flexibilität zu entsprechen.

## 2. PXI EXPRESS – MODULARER ANSATZ

### 2.1 Anforderungen an ein PXI Express-Chassis

Verglichen mit anderen Systemen, wie etwa CompactPCI, bei denen das Chassis lediglich eine passive Backplane beinhaltet und den Anforderungen an den mechanischen Schutz, die Stromversorgung und Kühlung gerecht werden muss, muss ein PXI Express-Chassis zusätzlich präzise Timing-Funktionen und PCI Express und PCI Signal-Architekturen bereitstellen.

Um dies zu erreichen, gelten die folgenden Voraussetzungen:

- Bereitstellung eines 10 MHz Single-ended-Takts, eines differenziellen 100 MHz-Takts, sowie eines differentiellen SYNC-Signals an jedem Slot.
- Verzögerungs- und störungsfreies Wechseln der Quelle (extern / intern / autark) dieser Taktsignale im System-Betrieb.
- Erweiterung des PCI Express-Bus über einen oder mehrere PCI Express-Switches um zusätzliche Ports, um auch größere Messsysteme zu ermöglichen. Dies ist notwendig aufgrund der begrenzten Link-Anzahl des System-Controllers von maximal 4 Ports, was die Anzahl von direkten Point-to-Point PCIe-Verbindungen entsprechend limitiert.
- Implementierung einer PCIe-to-PCI Bridge um im Chassis neben den PXI Express-Karten auch PXI-Karten über ihren parallelen 32bit PCI-Bus zu betreiben.
- Aktive Regelung der Kühlleistung, um die Geräuschemission möglichst niedrig zu halten, vor Allem beim Einsatz im Labor

All diese Anforderungen führen zu einer deutlich aufwändigeren Konstruktion des PXI Express Chassis, mit erheblich mehr und komplexeren Komponenten als bei vielen anderen Systemen.

### 2.2 Vorteile eines modularen PXI-Express-Chassis

Wie die meisten modularen Systeme, kann auch ein PXI Express-System in zwei Bereiche gegliedert werden. Der eine Bereich betrifft die Einsteckkarten (Prozessorkarten, Messkarten, IO-Karten), die in unterschiedlichster Zusammenstellung anwendungsspezifisch eingesetzt werden und die eigentlichen Ziel-Funktionen des PXI Express Systems ist.

Der zweite Bereich umfasst das PXI Express-Chassis, das die notwendige Infrastruktur, inklusive Kühlung, Signalinfrastruktur, Taktaufbereitung etc. für den Betrieb der Einsteckkarten bereitstellt. Auf der Systemebene löst man die Anforderung nach Modularität mit austauschbaren Funktionsblöcken/Modulen der komplexen Funktion im gesamten Systems. Durch diese Aufteilung in Funktionsblöcke können einmal entwickelte komplexe Module immer wieder in verschiedenen Systemen verwendet werden.

Das selbe Konzept kann auch bei dem Aufbau eines PXI Express-Chassis angewendet werden. Dabei können die benötigten aufwändigen Funktionen des Chassis, wie Clockgenerierung, Data-Switching und Kühlung, ebenfalls in Funktionsblöcken zusammengefasst und diese als eigenständige und austauschbare Bausteine realisiert werden.

Durch den modularen Aufbau des Chassis lassen sich Entwicklungen von neuen bzw. Anpassungen oder Erweiterungen bestehender Systeme deutlich vereinfachen. Dadurch reduziert sich nicht nur die Time-to-Market für das Projekt. Es lassen sich auch die Entwicklungskosten und Risiken deutlich verringern. Einmal entwickelte Funktionsmodule können in vielen unterschiedlichen Projekten eingesetzt werden und müssen nicht erst aufwendig entwickelt, angepasst und neu qualifiziert werden.

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

## 3. PXI EXPRESS-CHASSIS NACH DEM BAUKASTEN-PRINZIP AUFBAUEN

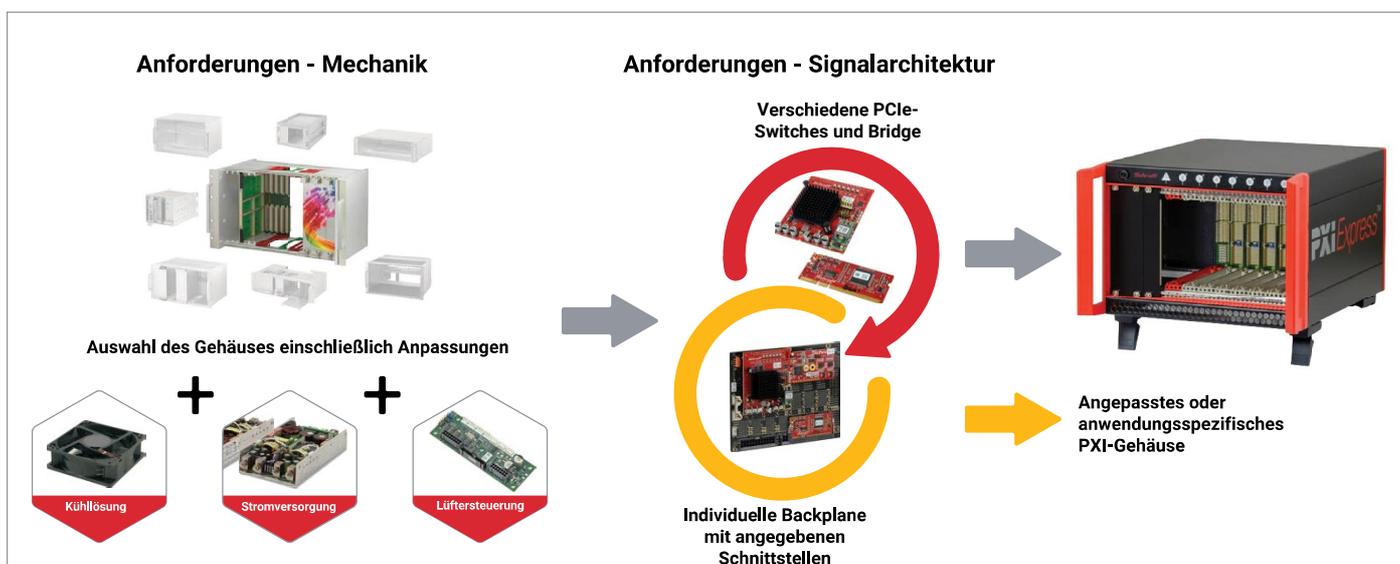
Die erwähnte Modularität erlaubt die Entwicklung bzw. Modifikation eines PXI Express-Chassis mit einer bereits vorhandenen und qualifizierten Palette an Funktionsmodulen. Der Einsatz der Funktionsmodule basiert auf den Anforderungen die der Anwender für sein Projekt an das PXI Express-Chassis stellt.

Wird beispielsweise ein PXI Express-Chassis mit 12 Hybrid Slots und einer horizontalen Slot-Anordnung benötigt, wird zunächst eine passende Gehäuseform als Basis für sein PXI Express-Chassis ausgewählt. Eventuell werden zusätzlich gewünschte Änderungen am Gehäusedesign vorgenommen und z. B. die Gehäusetiefe, die Oberfläche, die Griffe oder Farben etc. geändert. Wie oben angedeutet werden beim modularen Ansatz nicht nur PXI Express-spezifische Funktionen wie Clocking, PCIe-Switching etc. als Funktionsmodule angesehen, sondern

alle Funktionen und Eigenschaften eines PXI Express-Chassis. Das heißt auch Gehäusegröße, EMV-Eigenschaften, Robustheit, Design, Kühlkonzepte, Stromversorgung und andere Parameter. Ausgehend von den Leistungsanforderungen der Steckkarten im Chassis und den Platzverhältnissen im Gehäuse, wird aus einer Palette an PXI Express-Stromversorgungsmodulen ein entsprechendes Netzgerät ausgewählt. Passend zur notwendigen bzw. gewünschten Kühlleistung wird anschließend das Kühlkonzept aus vorhandenen Funktionsmodulen zusammengestellt, entsprechende Anpassungen vorgenommen und die geforderte Kühlleistung durch Simulationstools verifiziert.

Das Bild unten zeigt schematisch die Zusammenstellung der Module/Funktionen eines PXI Express Chassis mit der Backplane als zentrales Element des Chassis

## Schematischer Aufbau eines PXI Express-Chassis



### 3.1 Mechanisches Gehäuse

Je nach Einsatzbereich des Chassis, z.B. Medizintechnik, Bahn- und Verkehrstechnik oder Luftfahrt, sind die Anforderungen an Robustheit, EMV-Eigenschaften, die Geräuschemission etc. unterschiedlich. Daher ist es von Vorteil auf eine breite Palette an bereits entwickelten und etablierten Baugruppenträger-/ Gehäuse-Familien zurückgreifen zu können um das wirtschaftlichem Risiko zu minimieren. Zusätzlich werden häufig Design- und Farbenanpassungen oder Änderungen an Frontplatten und Rückwänden vorgenommen. Dies verlangt ein hohes Maß an Flexibilität vom Gehäusehersteller. Hier bietet nVent SCHROFF beispielsweise eine große Auswahl an bewährten, modularen Tisch- und Rack- bzw. 19"-Gehäusen an.



Abbildung 1: Auswahl verschiedener SCHROFF-Baugruppenträger und -Gehäuse

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

## 3.2 Stromversorgung

Eine akkurate und stabile Stromversorgung ist die Basis aller Funktionen eines PXI Express-Chassis und muss dementsprechend hohe Qualitätsanforderungen erfüllen. Jedoch gibt es einige Aspekte die bei der Auswahl der geeigneten Stromversorgung beachtet werden müssen. Da die PXI-Express-Architektur auf der PC-Architektur basiert, sind Spannungspegel und Management-Signale mit einer ATX-Spezifikation identisch. Daher wäre der Einsatz von konventionellen ATX-Netzteilen generell denkbar, aber nicht empfehlenswert. Die Anforderungen an Spannungsstabilität und das Regelverhalten überfordern die meisten konventionellen ATX-Modelle. Zusätzlich führen der

Temperaturbereich, die Baugröße, Geräuschemission und je nach Einsatzzweck die fehlende Zertifizierung der ATX Netzteile zu weiteren Problemen. Zudem können Schwierigkeiten bezüglich der

Lastenverteilung in einem PXI Express-Chassis auftreten. Je nach Größe und Zusammenstellung des PXI Express-Systems werden die +5.0 V und die +3.,3 V Spannungen stark belastet, diese Leistung kann von verfügbaren ATX-Modellen nicht immer entsprechend bereitgestellt werden.

Folgende Tabelle zeigt exemplarisch die Lastverteilung in einem 8 Slot PXI-Express Chassis mit 7 Hybrid Slots.

	5V	3.3V	+12V	-12V	5Vaux	Total Power
<b>8 slot PXI Express Chassis</b>						
<b>1x System controller slot</b>	9A	9A	11A	-	1A	140W
<b>1x System timing slot</b>	-	3A	2A	-	0	30W
<b>7x Hybrid slot</b>	14A	21A	14A	1.75A	0	7x30W =210W
<b>Total Power Requirements</b>	23A	33A	27A	1.75A	1A	380W
<b>ATX-PSU (reference model)</b>	<b>25A</b>	<b>25A</b>	<b>144A</b>	<b>1A</b>	<b>3A</b>	<b>&gt;1000W</b>

Table 1: ATX-PSU current capability vs. PXI-Express 8 slot Power supply minimum required continuous current

Darüber hinaus muss durch die Auswahl gewährleistet sein, dass verwendete Netzteile möglichst über die gesamte zu erwartende Projektlaufdauer verfügbar sind. Das spart kostspielige Re-Zertifizierungen der PXI Express Chassis und Systeme. nVent setzt daher industrielle Netzteile in den PXI Systemen ein. Diese gibt es inzwischen auch mit den typischen PC-Hauptspannungen und einer Standby-Spannung um ein Aufwachen des Systems aus dem Ruhezustand zu realisieren. Solche Netzteile gibt es ebenfalls mit modularem Aufbau. Hier wird die Leistung auf den einzelnen Spannungspfaden über wechselbare Module an die jeweiligen Anforderungen angepasst.

## 3.3 Kühlung

Abhängig vom eingesetzten mechanischen Gehäuse sollte eine homogene Systemkühlung in Hinblick auf die maximal zulässige Verlustleistung pro Slot erreicht werden. Diese hängt zum einen von der zulässigen Temperatur-Erhöhung ( $\Delta T$ ) als auch vom

förderbaren Luftvolumenstrom ab. Generell gilt, je größer der Luftvolumenstrom und die zulässige Temperatur-Erhöhung, desto größer die abführbare Verlustleistung innerhalb des Systems. Beim Einsatz, beispielsweise als Tischgehäuse in einer Labor Mess-Applikation, sollte auch die entstehende Geräuschemission, die durch die Kühlung entsteht, entsprechend berücksichtigt werden. Die Unterschiede in der theoretisch maximalen Leistungsdichte von Peripherie-Karten mit 50 Watt pro Slot und der des Systemcontrollers von bis zu 140 Watt pro Slot erfordert eine adäquate ausgelegte Luftführung innerhalb des Chassis. Bei einem 8 Slot-Chassis erreicht die Verlustleistung einen Wert von bis zu ca. 390 W. Bei einem gemessenen Luftdurchsatz von 120 m<sup>3</sup>/h wäre somit eine Temperaturerhöhung von kleiner 15 K erreichbar. Dies erlaubt auch den Einsatz des Chassis in einer überdurchschnittlich warmen Umgebung. Neben der maximalen Luftleistung ist ferner eine homogene Luftverteilung entlang aller Steckplätze wichtig,



Abbildung 2: Kühlsimulation und Messungen sowie Geräuschemessung

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

um die Bildung von Wärmenestern zu verhindern. Weiterhin gilt es Rückströmungen und Luftkurzschlüsse innerhalb des Systems zu vermeiden. Aus diesem Grund ist ein Einsatz von Umlenklechen, Gittern, Abdeckungen etc. ratsam.

Neben der maximalen Luftleistung und damit der bestmöglichen Kühlung bei Volllastung des Systems ist natürlich auch zu betrachten, wie sich das System bei Teillast oder im Idle-Mode verhält. Mit einer adäquaten, temperaturgesteuerten Lüfterregelung, wie zum Beispiel dem SCHROFF FCM2 (Fan Control Module 2) lässt sich die Lüfterdrehzahl und damit die Luftmenge und Lautstärke an den jeweiligen Betriebszustand automatisch anpassen und damit Energie sparen und die Lautstärke reduzieren. Idealerweise kann der Anwender bei der Lüfterregelung noch unterschiedliche Regelkurven einstellen und damit selbst entscheiden, ob ihm ein leiserer Betrieb oder niedrigere Temperaturen im System wichtiger sind.

## 3.4 Backplane

Die Backplane stellt das zentrale Element eines PXI-Express-Chassis dar und beherbergt viele essenzielle Systemfunktionen. Sie verbindet alle Komponenten und Messkarten miteinander und beeinflusst mit ihren Eigenschaften wesentlich die Qualität eines PXI Express Systems.

Wie bereits erwähnt ist eine stabile Stromversorgung der Messkarten eine wesentliche Anforderung an ein PXI Express-Chassis. Das setzt nicht nur ein qualitativ hochwertiges Netzteil voraus, sondern auch die EMV-Eigenschaften und Power-Integrität der Backplane sind dafür entscheidend. Zum Beispiel beeinflusst die Art und Position der Entkopplungskondensatoren und das Powerrouting der Backplane die Stabilität und Schwingungsneigung der Versorgungsspannungen. Besonders kritisch, sogar im DC-Bereich, sind die 3.3 V und 5.0 V

Spannungen. Hier können unter Umständen bereits geringe Spannungseinbrüche zur Beeinträchtigung oder sporadischen Messungenauigkeiten der Karten führen. Diese Fehlfunktionen können zu Falschmessungen führen und sind bei der späteren Messanwendung nur sehr schwer zu erkennen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, muss auf der Backplane auf das Frequenzverhalten der Powerzuführung geachtet werden. Zudem darf ein maximaler DC-Spannungsabfall von ca. 50 mV unter Volllast an jeder Versorgungsspannung nicht überschritten werden.

Für eine abgestimmte Synchronisation der PXI- und PXI Express-Karten untereinander stellt die Backplane synchronisierte Taktsignale von der Takt-Quelle und vom Timing-Slot sternförmig an allen Slots bereit. Hier ist ein möglichst geringer Laufzeitenunterschied zu allen Teilnehmern im Chassis essentiell. Die PXI Express-Spezifikation definiert einen maximal zulässigen Slot-to-Slot Laufzeitunterschied von < 150 ps und für differenzielle Takt-Paare einen maximalen Intra Pair Laufzeitunterschied von < 25 ps. Jedoch empfiehlt sich für eine akkurate Funktion des Systems und eine hohe Signalqualität Laufzeitunterschiede von kleiner 10 ps in der Backplane zu realisieren. Dadurch lässt sich zuverlässig eine exakte Funktion der Messkarten gewährleisten.

Eine weitere Herausforderung beim Design der PXI Express Backplane stellen die High-Speed-Datenleitungen des PCI Express-Busses dar. Um die derzeit geforderte Systembandbreite von bis zu 16 GB/s (4-Link Systemslot, 16 Lanes PCIe Gen3) bzw. 24 GB/s (2-Link Systemslot, 24 Lanes PCIe Gen3) zu erreichen, reicht es nicht aus lediglich die Impedanzen der Leitungen zu kontrollieren. Hinsichtlich Signalintegrität, Material- und Bauteilwahl sowie Signal-Routingstrategien müssen diverse Abstimmungen getroffen werden. Hier empfiehlt

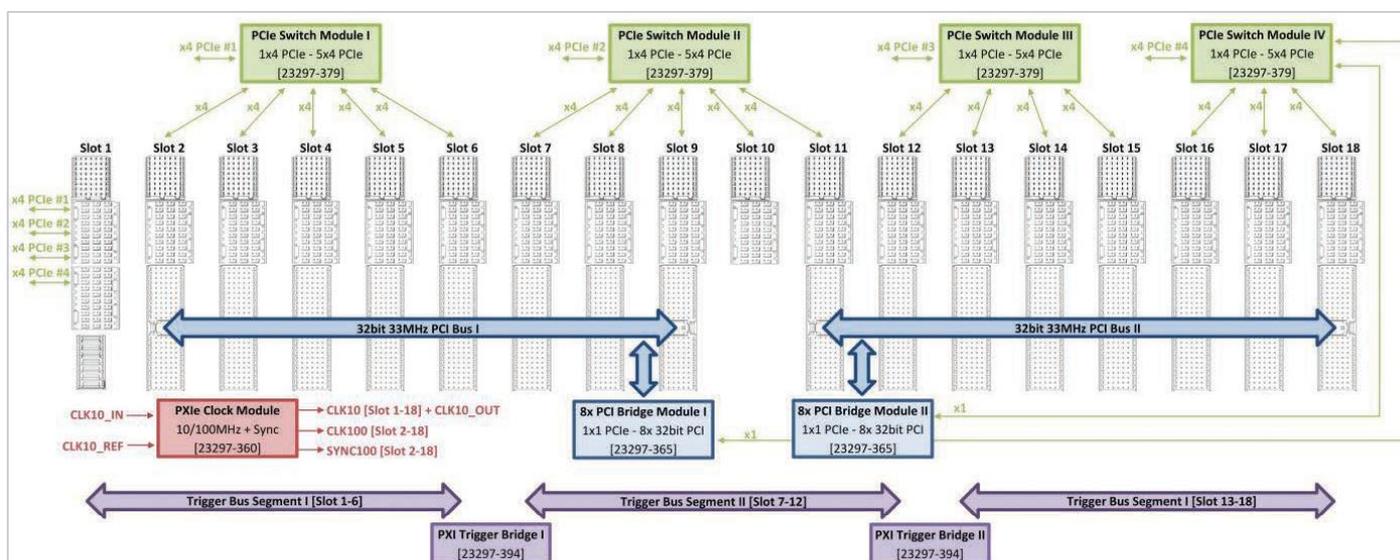


Abbildung 3: Signaltopologie einer 18-Slot-Full-Hybrid-Backplane mit einem 4-Link-Systemsteckplatz

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

sich der Einsatz von Signalintegrity-Simulationstools, um noch vor Fertigstellung des Routings alle wichtigen Parameter qualifizieren zu können. Mit abschließenden Messungen muss die Qualität des Designs mit entsprechenden Vorgaben verifiziert werden.

Ein Nachteil der PXI Express-Signalarchitektur ist, dass der Systemslot lediglich über zwei (x16 + x8) bzw. vier PCIe-Ports (4 x4 Konfiguration) verfügt. Diese Portanzahl reicht bei kleinen Systemen aus, um alle Karten am Systemslot anzubinden. Die Backplane kommt dadurch ohne aktive Schaltungsteile aus. Ist jedoch eine erweiterte Peripherie-Slot Anzahl oder Abwärtskompatibilität zu PXI gefordert, benötigt man zusätzlich PCI Express Switches und/oder PCIe-to-PCI Bridges. Darüber hinaus ist die Referenztakt-Erzeugung und -Umschaltung eine weitere wichtige Funktion des PXI Express-Chassis. Folgendes Bild zeigt beispielhaft die Signalarchitektur einer 18 Slot PXI-Express Backplane mit 16 Hybrid Slots.

Herkömmliche PXI Express-Backplanes beherbergen alle angesprochenen Funktionen oft on-board. Bei hohen Stückzahlen ist das meist von Vorteil. Möchte man jedoch für verschiedene Anwendungen und kundenspezifische Projekte flexibel bleiben und deshalb schnell und kostengünstig Anpassungen und Neuentwicklungen vornehmen, steigt bei der „on-board“ Variante automatisch der Designaufwand und Entwicklungszeit der Backplane deutlich. Bei kundenspezifischen Anpassungen bzw. Neudesigns führt das jedes Mal zu einem enorm hohen Design und Verifizierungsaufwand. Das kann zu Verzögerungen, Kosten und Risiken im Projekt führen.

An dieser Stelle werden die Vorteile des modularen PXI-Express-Chassis nochmals deutlich. Zuvor entworfene PCIe-Switch-, PCIe-PCI-Bridge- und Clock-Funktionen können als eigenständige Funktionsmodule gestaltet und von der Backplane ausgelagert werden. Die Schnittstellen zwischen der Backplane und Modulen werden definiert und als interner Standard für alle Projekte verwendet. Dadurch kann die Backplane weitestgehend ohne aktive Komponenten auskommen und das Placement bzw.

Routing der Backplane kann relativ einfach an die Projektanforderungen (z.B. Slotanzahl, Slottypen) angepasst werden. Durch diese Vorgehensweise ist bei Sonderanwendungen und anderen, kundenspezifischen PXI Express Projekten mit modularem Ansatz oft lediglich die Backplane das einzige Element im PXI-Express Chassis, welches projektspezifisch entsprechend den Anforderungen entwickelt wird. Alle Module mit ausgelagerten Funktionen können immer wieder für verschiedene Projekte verwendet werden.

Das folgende Bild zeigt eine modular aufgebaute PXI Express Backplane.



**Bild:** 8 Slot PXI-Express backplane with installed modules (PCIe-Switch, PCIe-PCI-Bridge and Clock-Module)

Durch diese Vorgehensweise reduziert sich die Entwicklungszeit der projektspezifischen Backplane, da sie sich rein auf das Signalarouting beschränkt. Auch die Fertigungsverfahren der Leiterplatte und der Backplane werden vereinfacht (einfachere Fertigungsverfahren, keine BGAs Komponenten etc.) und werden damit zuverlässiger.

Zudem erleichtert die Aufteilung der Funktionen in Module nicht nur die Wartung des Systems, sondern ermöglicht auch die spätere Erweiterbarkeit durch neue oder zusätzliche Module.

## 4. PXI EXPRESS CHASSIS – FUNKTIONSMODULE

### 4.1 PXI Express Clock-Modul

Für eine exakte Koordination zwischen eingesetzten Messkartenkarten ermöglicht das Modul eine Synchronisation basierend auf präzise korrelierten Systemtakt. Entsprechend der PXI Express-Plattform stellt das Modul neben einem von PXI-1 abstammenden, TTL/CMOS kompatiblen 10 MHz Takt, zusätzlich einen differenziellen 100 MHz LVPECL Takt, als auch ein konfigurierbares differenzielles SYNC-Signal je Slot bereit.

Durch eine spezifiziertere, enge zeitliche Beziehung zwischen diesen Referenztaktten können Systemanwendungen mit höchsten Anforderungen an Synchronisationsgenauigkeit und Taktstabilität unabhängig von der Slot Anzahl unterstützt werden. Die gebotene Langzeit-Genauigkeiten unterhalb von 25 ppm über den Industrietemperaturbereich wird durch einen unabhängigen Referenzoszillator hoher Güte und entsprechender Taktbereitung realisiert.

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

Zusätzlicher Vorteil der Modularität ist die bessere Handhabung der EMV-Immissionen und dadurch verringerte Beeinträchtigungen der Taktqualität trotz hoher Signalkonzentration im Messsystem. Mit abgestimmten Routingstrategien und einer auf niedrigem additivem Jitter fokussierten Bauteilauswahl entlang der Übertragungsstrecke werden Laufzeitunterschiede zwischen den Slots von unter 50 ps erreicht.

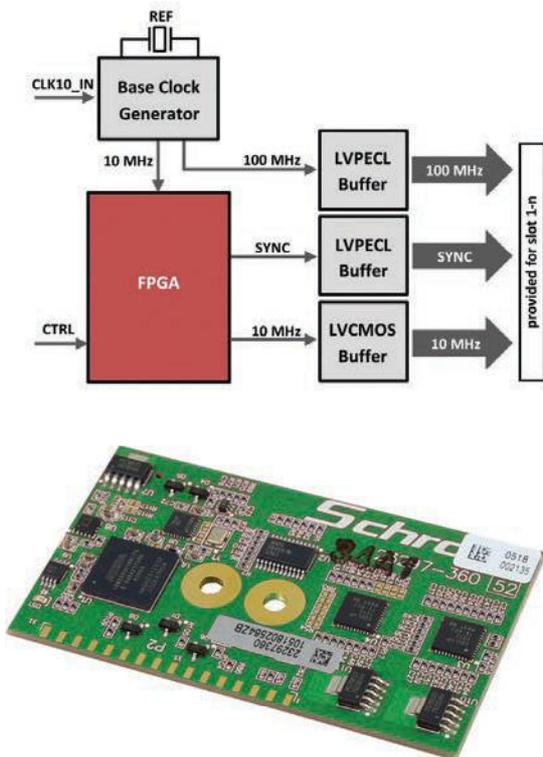


Abbildung 5: PXIe Clock-Modul

Für eine volle Nutzung der PXI Timing-Funktionalität wurde eine verzögerungsfreie Umschaltung zwischen internen und externen Präzisionstaktquellen implementiert. Außerdem kann per Nutzerschnittstelle im System-Betrieb die Funktion der PXIe\_SYNC\_CTRL und PXIe\_SYNC100 Signale modifiziert werden. Ein qualifiziertes Moduldesign und die physikalische Reproduzierbarkeit in der Serienfertigung garantieren eine beständige Qualität und werden den präzisen Timing-Anforderungen von Test- und Messanwendungen gerecht.

## 4.2 PCI Express Switch-Modul

Durch die Limitierung verfügbarer PCI Express Ports am PXI Express System Controller (2 oder 4 Link Konfiguration) müssen bei erweiterter Peripherie-Slots Anzahl diverse Slots via PCI Express-Switches an den System Controller angebunden werden. In dem hier vorgestellten modularen Ansatz wird diese Funktion vom PCI Express-Switch Module übernommen. Es

erlaubt die Expansion eines PCI Express Ports vom System Controller auf zahlreiche Peripherie Slots. Die individuelle Skalierbarkeit der Slot-Anzahl verschiedener PXI Express-Chassis, als auch die Verfügbarkeit von dedizierten Upstream Ports am System-Controller begünstigen zusätzlich die Implementierung der PCI Express Switch-Funktionalität auf einer modularen Baugruppe.

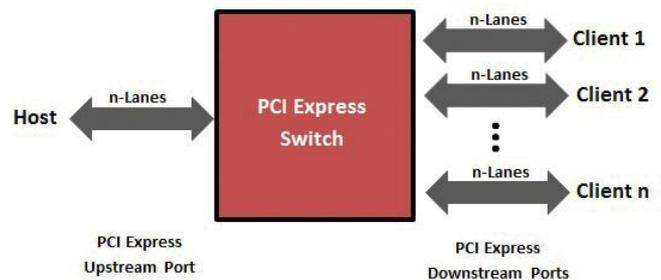


Abbildung 6: PCIe Switch-Modul

Verglichen mit der „on-board“ Variante, bei der die Switch-Funktionalität direkt auf der Backplane implementiert wird, ermöglicht der modulare Aufbau einen kompakteren Stackup des Switch-Modul-Multilayers und somit feinere Layoutstrukturen mit reduzierten parasitären Effekten, wie Signal-Stubs, Koppelkapazitäten und vieles mehr, entlang der gesamten Übertragungsstrecke. Durch die Kombination vom verwendeten High Speed-Steckverbinder, einer Gesamt-Einfügedämpfung von unter 3 dB @ 8 GHz, optimiertem Design und unabhängigen Compliance-Messungen, kann die Reproduzierbarkeit des Moduls mit gleichbleibender Qualität garantiert werden. Durch die Auswahl der Komponenten und dem optimierten Signalarouting ist das Modul zukunftssicher ausgeführt und auch an die kommende PCI Express Generation 4.0 adaptierbar gestaltet. Für eine bestmögliche Nutzung der Systembandbreite wird bei der Konfiguration des Switch Moduls auf eine effiziente Abstimmung der Linkbreiten am Up- und Downstream Ports geachtet, um keine Engpässe zwischen den Peer-to-Peer-Endpunkten entstehen zu lassen.

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

Zudem lassen sich durch den platzsparenden Mezzanine-Aufbau in die Z-Achse (Switch Modul hinter der Backplane, siehe Abb X), der sinkenden Dichte aktiver Schaltungsteile auf der Backplane und einem sinnvoll gewählten PCIe Switch Port Multiplikator die Signalintegrität der Backplane durch weit effizientere Routingstrategien, gegenüber einer Switch-Implementierung auf der Backplane, verbessern.

## 4.3 PCI Express to PCI Bridge-Modul

Zur Aufrechterhaltung der Abwärtskompatibilität zu PXI-1-Modulen muss per Bridge-Baustein eine Schnittstelle zwischen dem seriellen PCI Express-Bus vom System Controller und dem parallelen 32 bit / 33 MHz PCI-Bus der PXI-1 kompatiblen Slots geschaffen werden.

In einem modularen PXI-Chassis wird dies über ein im Forward Mode betriebenen PCIe-PCI-Bridge-Modul, welches der PCI Express-to-PCI Bridge-Specification 1.0 entspricht, realisiert. Das PCIe-to-PCI-Bridge-Modul verbindet bis zu acht PXI- und/ oder cPCI-Devices mit einer Bandbreite von 133 MB/s an einen PXI Express System Controller und sorgt somit für einen optimalen Nutzungsgrad.

Das Moduldesign sowie verwendete Komponenten erfüllen neben einer VIO-Kompatibilität zu +3.3 und +5.0 V ebenfalls die Anforderungen an den erweiterten Temperaturbereich für Industrieanwendungen. Durch die vollständige Transparenz benötigt das PCIe-to-PCI Bridge-Modul keine zusätzlichen Treiber oder Softwareanpassungen. Es wird „Plug & Play“ von modernen Betriebssystemen erkannt und eingebunden.

Somit lässt sich kosteneffizient und austauschbar eine performante Abwärtskompatibilität zu gängigen Peripheriekarten

aus dem PXI-1 Sortiment herstellen. Das reduziert Projektkosten und erneute Qualifizierungen auf ein Minimum.

In der folgenden Abbildung ist das Blockdiagramm des Bridge Moduls dargestellt:

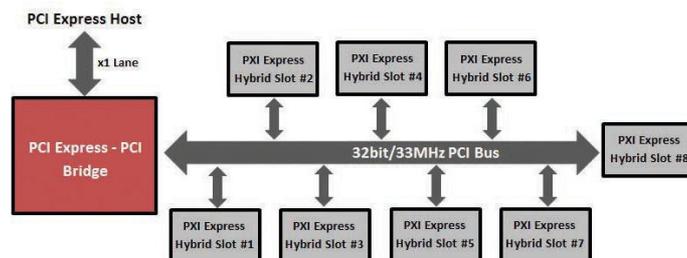


Abbildung 7: Blockdiagramm des PCIe-PCI-Bridge-Moduls

## 4.4 Trigger Bridge-Modul

Entsprechend der PXI Express Spezifikation PXI-5 darf ein Trigger Bus-Segment aus maximal acht Busteilnehmern bestehen, jedoch muss eine Kommunikation der einzelnen Trigger Bus-Segmente untereinander gewährleistet werden. Deshalb ist bei höherer Slot-Anzahl eine Aufteilung des gesamt Trigger Busses mittels Trigger-Bridge in zulässig große Bus-Segmente notwendig. Die Software der Trigger-Bridge muss eine dedizierte und individuelle Konfiguration einzelner Trigger Signale PXL\_TRIG[7:0] ermöglichen um die Bus-Segmente untereinander zu verbinden oder zu trennen.

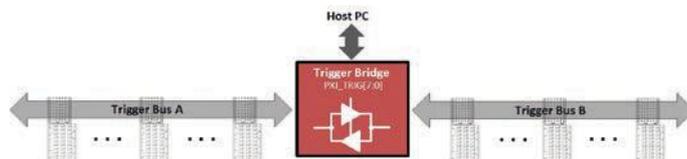


Abbildung 8: Trigger Bridge-Modul

## 5. FAZIT

Heutige Marktanforderungen verlangen von einem Chassis Hersteller ein hohes Maß an Flexibilität. Anwender erwarten keine Katalogware, sondern haben individuelle Anforderungen, wenn es um das Design und die technischen Eigenschaften ihrer Produkte geht. Das bedeutet, dass bei vielen Projekten Anpassungen vorgenommen werden müssen, oder sogar die komplette Neuentwicklung eines PXI-Chassis ansteht. Aufgrund der erhöhten Komplexität, verglichen mit anderen Plattform, ist die Entwicklung eines PXI-Chassis deutlich aufwendiger und führt häufig zu höheren Kosten und Risiken bei Entwicklung, Konstruktion und Serienanlauf. Um diese Kosten und Risiken möglichst gering halten zu können, baut nVent SCHROFF auf ein modulares Systemkonzept. Durch den Aufbau modularer PXI Express-Chassis, mit passiver Backplane und zusätzlichen

separaten Funktionsmodulen für die aufwändig zu designenden PCIe-Switches, PCIe-PCI-Bridges und Clock-Funktionen, die über definierte Schnittstellen mit der Backplane verbunden werden, ergeben sich vielfältige Vorteile. Dies gilt vor allem in Bezug auf eine hohe Verfügbarkeit, reduzierte Projektlaufzeiten, erhebliche Kosteneinsparungen, eine generelle Individualisierbarkeit und hohe Wartungsfreundlichkeit .

Die Entwicklung und Umsetzung der beschriebenen Komponenten und Bausteine eines modularen PXI Express-Chassis erfordert Kenntnisse in unterschiedlichen Disziplinen. Angefangen mit der Mechanik, speziell der 19"-Technik, über Kenntnisse und Erfahrung im Bereich Kühlung, Stromversorgung, bis hin zum Know-how im Bereich der Power- und Signal-Integrität.

# PXI Express - Modulare Plattform für Automatisierungs- und Prüfsysteme

## Autor

Christian Ganninger, geb. 1971, studierte Elektrotechnik an der Fachhochschule Karlsruhe. Anschließend arbeitete er als Entwickler und technischer Koordinator für Backplanes und später als Projektmanager Backplanes & Systeme in einem Unternehmen, das 19“-Systeme und Backplanes entwickelt und produziert. Seit Mai 2005 ist er Produktmanager für Backplanes bei dem Unternehmen Schroff GmbH. Später übernahm er das Produktmanagement für MicroTCA, Stromversorgungen und robuste Enhanced Systems. Seit 2011, ist er für die Produktkategorie Systeme in EMEA verantwortlich und hat im Jahr 2014 die Rolle als Globaler Produkt Manager für Systeme übernommen.

Patrick Sitzler, geb. 1988 in Bruchsal, studierte Elektro- und Informationstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und hat seinen Master of Science (M.Sc). Anschließend arbeitete er als Entwickler bzw. Systemarchitekt für HighSpeed-Anwendungen und Layout-Vertiefung im Bereich Signal-Integrity. Er ist seit 2014 bei nVent/Schroff tätig. Zu seinen aktuellen Projekten im Haus gehören, 100G ATCA, COM Express, PXI Express, TOCP und weitere Kundenspezifische bzw. Standard-Projekte.

Sergej Dizel, geb. 1979, beschäftigt bei nVent/Schroff seit 1998. Seit 2014 ist er leitender Ingenieur für Backplanes und Signal Integrity und arbeitet hauptsächlich an, 100G und 40G Ethernet, PCIe Gen3/4/5, ATCA, mTCA, VPX, COM-Express, PXI-Express, CPCI-S, CPCI und Kundenspezifischen Projekten.

## Über ENCLOSURES

Elektrische Systeme gibt es in allen Größen und Formen – von großen Industriesteuerungen bis zu einzelnen Komponenten. nVent bietet ein umfangreiches Sortiment an Gehäusen, die diese wichtigen Systeme aufnehmen. Unsere Gehäuse werden unter den Marken nVent HOFFMAN und nVent SCHROFF vermarktet und bieten doppelten Schutz. Sie schützen elektrische Geräte vor der Betriebsumgebung und Menschen vor den Gefahren, die von elektrischen Systemen ausgehen. Die Marke nVent SCHROFF bietet Serverschränke, Kühlungslösungen für Rechenzentren, Energieversorgungslösungen, Baugruppenträger und Gehäuse an.

## ÜBER nVent

Wir bei nVent sind davon überzeugt, dass sichere Systeme auch die Welt noch ein Stück sicherer machen. Mit innovativen elektrischen Lösungen verbinden und schützen wir unsere Kunden. nVent ist ein globales Unternehmen mit rund 2 Milliarden Dollar Jahresumsatz und fast 9.000 Mitarbeitern in aller Welt.

## Europa

### Betschdorf, Frankreich

Tel: +33.3.88.90.64.90

### Straubenhardt, Deutschland

Tel: +49.7082.794.0

### Dzierzoniow, Polen

Tel: +48.74.64.63.900

### Assago, Italien

Tel: +39.02.5776151.224

## Nordamerika

Tel: +1.800.525.4682

## Nahe Osten und Indien

### Dubai, Vereinigte Arabische Emirate

Tel: +971.4.378.1700

### Bangalore, Indien

Tel: +91.80.6715.2001

### Istanbul, Türkei

Tel: +90.216.250.7374

## Asien

### Shanghai, Volksrepublik China

Tel: +86.21.2412.6943

### Qingdao, China

Tel: +86.532.8771.6101

### Singapur

Tel: +65.6768.5800

### Shin-Yokohama, Japan

Tel: +81.45.476.0271

Unser starkes Markenportfolio:

**CADDY ERICO HOFFMAN RAYCHEM SCHROFF TRACER**



[nVent.com/SCHROFF](https://www.nVent.com/SCHROFF)

©2019 nVent. Alle Marken und Logos von nVent sind Eigentum von oder lizenziert durch nVent Services GmbH oder seine Tochtergesellschaften. Alle übrigen Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber. nVent behält sich das Recht vor, ohne Vorankündigung Änderungen vorzunehmen.

Schroff-WPCS-H83811-PXIExpress-DE-1904



6832 Sulz, Frutzzstraße 4 \* [www.voltohm.at](http://www.voltohm.at) \* [info@voltohm.at](mailto:info@voltohm.at) \* T +43 5522 49420 \* F +43 5522 42141