

2.3 Einführung in Ethernet – basierte Automatisierungssysteme

2.3.1 Ethernet und Industrial Ethernet

Ethernet im Verbund mit den Protokollen TCP/IP ist die weltweit erfolgreiche Technologie für lokale Netze. Es ist Produkt einer kontinuierlichen Entwicklung seit 1973 und mit dem Namen des Pioniers Metcalfe verbunden. Ab 1980 entwickelten Arbeitsgruppen des IEEE die Technik weiter und schrieben die Ergebnisse in verschiedenen Standards IEEE 802.x fest.

Im Laufe dieser Entwicklung erfolgte der Übergang zu immer höheren Datenraten (in Stufen 10 MBit/s (klassisch) -> 100 MBit/s (Fast Ethernet) -> 1000 MBit/s (Gbit-Ethernet) -> 10 Gbit/s). Dafür stehen Namen wie 10Base2, 10Base5, 10Base-T, 100 Base-T4, 100Base-TX, 1000Base-TX u.a. Das klassische Übertragungsmedium ist die Kupferleitung mit zwei verdrehten Doppeladern für gleichzeitiges Senden und Empfangen. Die Verkabelung erfolgt sternförmig unter Verwendung von Switch. Ethernet mit den Protokollen TCP / IP ist heute de facto "Allgemeingut", und die weltweite Verbreitung führte zu günstigen Preisen diesbezüglicher Komponenten.

In der Automatisierungstechnik wurde Ethernet bisher vor allem als Verbindung zwischen Programmier- bzw. Bedienstationen und Steuerungsrechnern eingesetzt. Nunmehr gibt es Bestrebungen, diese Technologie bis in die Feldebene zu verwenden und dabei das weitverbreitete Wissen sowie Standardkomponenten zu nutzen. Die Tendenz geht dahin, verschiedene Weiterentwicklungen von Ethernet als Feldbus einzusetzen.

Bei Benutzung der gängigen Bezeichnung „Ethernet“ muss beachtet werden:

- Das Wort Ethernet allein ist nicht ausreichend, um alle erforderlichen Spezifikationen festzulegen.
- Die unterschiedlichen Standards IEEE 802.x für Ethernet treffen im wesentlichen nur Festlegungen für Kabeltypen, Stecker, etc. sowie für die Signalisierung der Bitübertragung und für Datenrahmen. Dies sind zunächst nur Festlegungen für die Schichten 1 und 2 des OSI-Modells (**Bild 2.3-1**).
- Durch Integration verschiedener Zusatzprotokolle gibt es Ethernet inzwischen in verschiedenen Ausprägungen, die trotz äußerlich gleicher Stecker und Leitungen nicht(!) kompatibel zueinander sind.
- Industrial Ethernet ist heute ein Sammelbegriff für Ethernet-Netze, die industrietauglich gemacht wurden, z. B. durch geeignete Stecker, Leitungen und Switches und weiter durch erforderliche Redundanz. Entscheidend ist aber stets, ob und welche Protokollerweiterungen implementiert wurden. Der „Mischbetrieb“ von Standardkomponenten und solchen aus Industrial Ethernet Systemen ist stets erneut zu hinterfragen!
- In der Automatisierungstechnik bedeutet der Hinweis auf "Standard Ethernet", dass keine zusätzlichen Maßnahmen für schnellere Datenübertragung und Echtzeitfähigkeit ergriffen wurden. Damit sind typische Reaktionszeiten von 100ms zu erwarten.

Unter dem im weiteren salopp benutzten Begriff „**Standard Ethernet TCP / IP**“ soll das Protokoll der weltweit eingesetzten PC-Netze **ohne Zusatzprotokolle** verstanden werden und nicht etwa die Behauptung, Ethernet TCP/IP sei ein Standard!

Der Begriff umfasst die Festlegungen zu Ethernet gemäß Schicht 1 und 2 sowie das Transport- und Internetprotokoll. Jeder aktuelle Rechner verfügt heute über eine derartige Schnittstelle für den Zugang zu Büronetz und Internet. Zu beachten ist, dass neben dem Transportprotokoll TCP in der Automatisierungstechnik für Transportschicht 4 auch das Protokoll UDP zur Anwendung kommt!

OSI-Schicht	Potokolle und Vereinbarungen
7	Anwendung Anwendungsprotokolle , z.B. Modbus
6	Darstellung
5	Sitzung
4	Transport TCP / alternativ auch UDP
3	Vermittlung IP (Internetprotokoll)
2	Sicherung Ethernet
1	Bitübertragung Ethernet

} umgangssprachlich Ethernet TCP / IP

Bild 2.3-1: Die Stellung von Ethernet im 7-Schichten-Modell

Bild 2.3-2 zeigt ein beispielhaft, wie die Nutzdaten von Anwendungen (hier Modbusdaten) beim Durchlaufen der Schichten bis hin zum Ethernet-Netzwerk zunehmend mit Adress-, Port- und Sicherungsdaten ergänzt werden, bevor sie als Telegramme im Netz transportiert werden. Diese Zuordnungen werden als **Datenoverhead** bezeichnet.

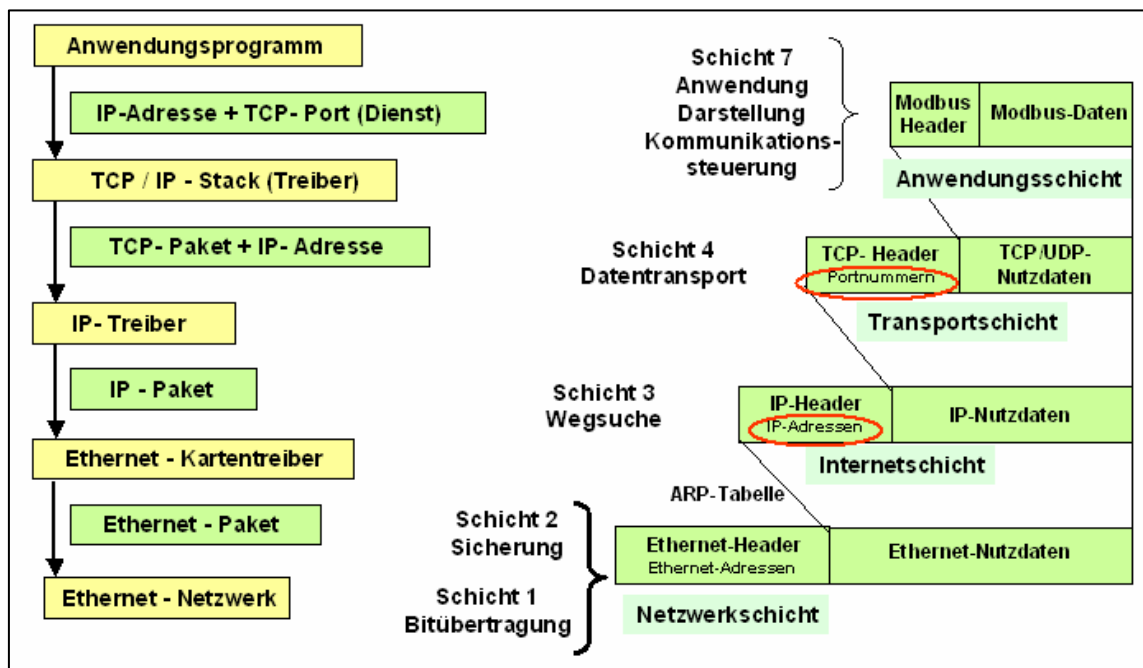


Bild 2.3-2: Nutzung der Ethernet TCP/IP Protokolle (Schichten 1, 2, 3 und 4 des OSI-Referenzmodells) für die Übertragung von Daten im „Standard Ethernet“.

Einige Hersteller von Automatisierungskomponenten setzen nicht nur bei der Vernetzung von Steuerungen und bei der Nutzung von Internettechnologien in der Automatisierungstechnik, sondern auch bei der Anschaltung dezentraler I/O-Baugruppen auf Standard Ethernet TCP / IP. Sie nehmen damit in Kauf, dass diese Systeme keine Reaktionszeiten wie spezielles „Echtzeit-Ethernet“ haben können.

Ein solches System ist das WAGO Busklemmensystem-750-IO, wenn Ethernet-Controller und / oder Ethernet-Koppler eingesetzt werden (**Bild 2.3-3**).

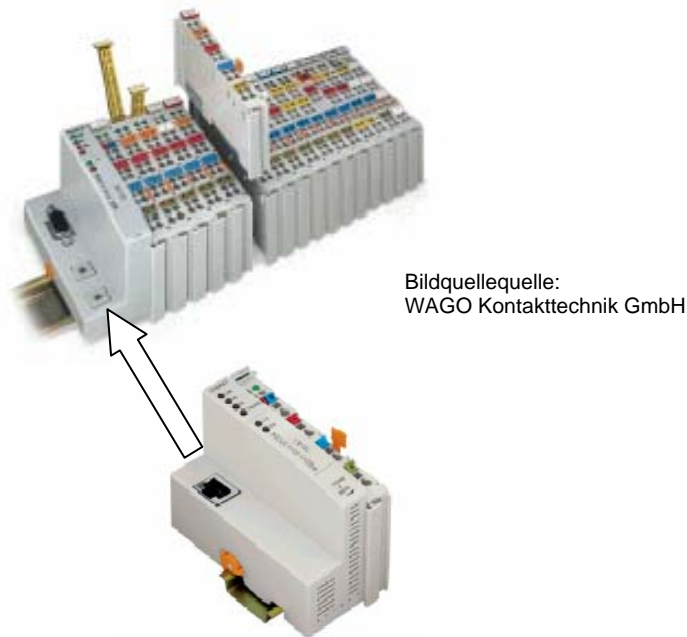


Bild 2.3-3: WAGO Busklemmsystem-750-IO. Der Ethernet Controller macht aus dem Busklemmsystem einen Ethernet-Knoten

Von Vorteil ist hierbei, dass für dieses Bussystem sämtliche gebräuchlichen Ethernet-Komponenten wie PC-Netz Karten, Switch, Router und auch evtl. vorhandene Datennetze verwendet werden können. Bei Fragen der Nutzung von Internettechnologien ist aber streng zu unterscheiden, ob es sich um ein lokales Netz mit festen IP, ein lokales Netz mit DHCP / DNS oder um Zugriff auf WAN / Internet handelt.



-> hierzu Folgen 15 bis 18 der praktischen Einführung in CoDeSys

Ein System wie im **Bild 2.3-4** gezeigt ist Grundlage des Praktikums "Automatisierungstechnik I und II.: Spindelantrieb". Dort finden sich im Teil 1 einige Hinweise zur Nutzung des PC mit fester IP-Adresse als Programmierrechner und zum Zugang zur Ethernet-Schnittstelle von Automatisierungskomponenten. Weiter wird dort in Tools wie BootP und Ethernet-Settings zum Konfigurieren und Prüfen der Schnittstelle eingeführt.

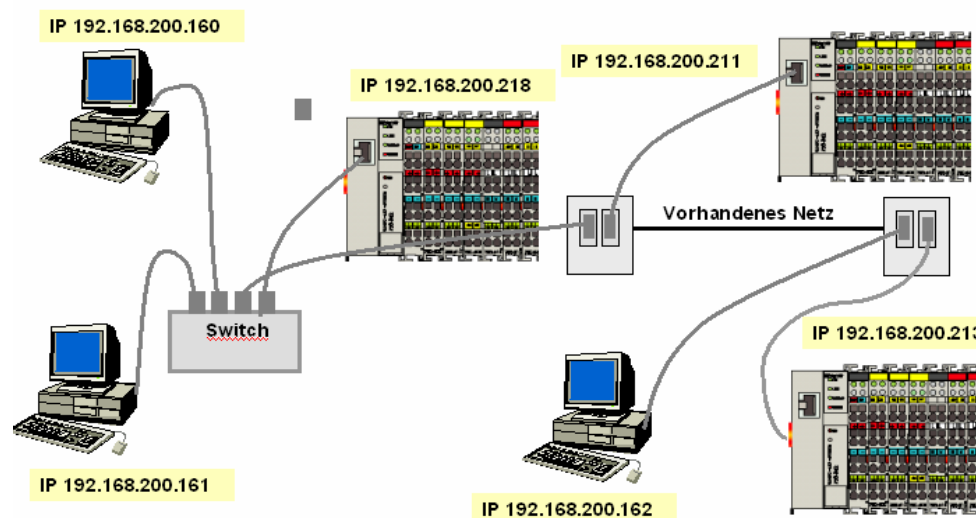


Bild 2.3-4: Lokales Automatisierungsnetz mit Standard Ethernet und festen IP

2.3.2 Einführung in PROFINET



Profibus Nutzer-Organisation e.V. -> www.profibus.de

Technische Kurzbeschreibung und Broschüren

->www.siemens.de/simatic/druckschriften und ->www.simatic.de/profinet

PROFINET ist Bestandteil von IEC 61158 und basiert auf dem Ethernet Standard IEEE 802.3. Es nutzt Fast Ethernet 100 Mbit/s mit Switch-Technologie.

Mit PROFINET hat die Interessengemeinschaft **Profibus International (PI, in Deutschland weiterhin PNO)** auf Basis von Ethernet einen offenen und herstellerübergreifenden Standard definiert, der durchgängige Kommunikation vom Feldbereich bis zur Leitebene eröffnen soll. Zusammen mit anderen Systemen verkörpert PROFINET die Feldbustechnologie der zweiten Generation.

Nachfolgende neue Möglichkeiten und Verbesserungen werden genannt:

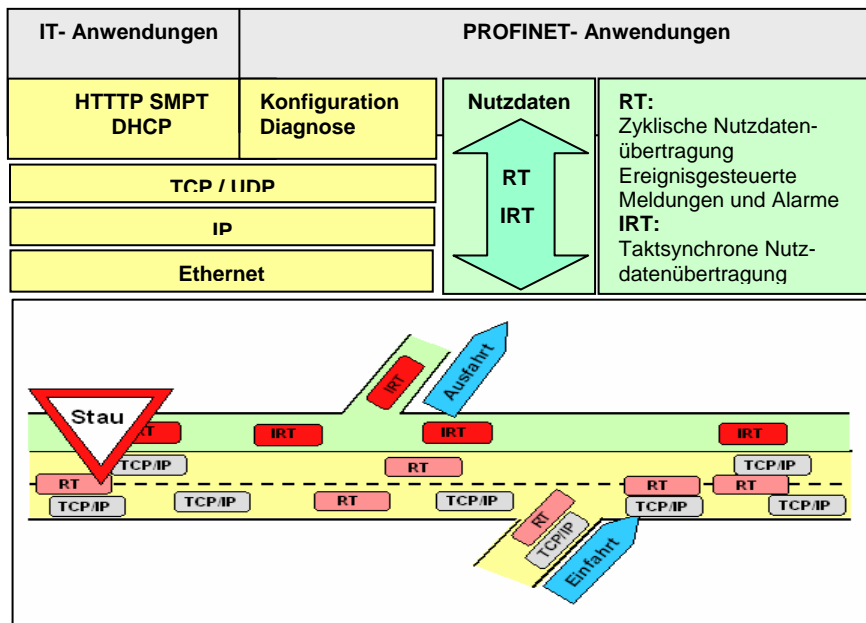
- Gleiche Technologie in allen Ebenen der Automatisierungssysteme
- Höhere Datenraten und größere Zahl von Teilnehmern
- dennoch Echtzeitfähigkeit
- Integration von IT-Funktionen wie Web-Services oder E-Mails
- Nutzung von Industrial Wireless LAN
- Integration anderer Feldbus-Lösungen
- Taktsynchrone Motion Control Anwendungen
- Fehlersichere Kommunikation (Safety)
- Sicherheit vor unbefugtem Zugriff auf Daten und vor Datenmanipulation (Security)
- Vereinfachte Verfahren bei Parametrierung, Diagnose und Visualisierung

In der PI arbeiten 10 Arbeitskreise mit 70 Mitarbeitern aus 50 Unternehmen.. Schwerpunktthemen sind dabei Realtime-Kommunikation, Dezentrale Feldgeräte, Motion Control, Verteilte Intelligenz, Netzwerkinstallation, IT-Standards und Security, Safety sowie Prozessgestaltung. Die Organisation hat mehr als 1200 Mitglieder weltweit.

PROFINET stellt damit eine übergreifende Lösung für Fertigungs- und Prozessautomation zahlreicher Branchen dar. Es darf aber nicht vergessen werden, dass PROFINET nur einer der Standards für industrielles Ethernet in der Automatisierungstechnik ist.

In der Simatic-Welt ist PROFINET das Bussystem der Zukunft. Es ist eine Stärke des Systems, dass Feldbussysteme der ersten Generation wie insbesondere **Profibus-DP**, aber auch CANopen und Interbus weiterhin genutzt und in PROFINET-Netze integriert werden können! Dadurch wird **Investitions-sicherheit** gewährleistet. Für die Integration von Profibus-DP in PROFINET wird es unterschiedliche PROFINET-Profibus-Link's bzw. Proxies und weiter auch CPU's mit PROFINET- und Profibus-Schnittstelle geben.

Basis von PROFINET ist Fast Ethernet 100 MBit/s mit TCP/IP-Protokoll und Switch-Technologie. Damit allein können Echtzeitforderungen der Automatisierungstechnik nicht erfüllt werden, denn die Bearbeitungszeit eines Datentelegramms im TCP/IP-Stack ist nicht exakt determiniert und kann bis zu 200 ms (typisch 100 ms) betragen. Deshalb wurden für Echtzeitanwendungen weiter Protokolle spezifiziert, die den **TCP/IP-Stack umgehen (Bild 2.3-5)**. Es handelt sich dabei um Real Time (RT) und Isochrones Real Time Ethernet (IRT).



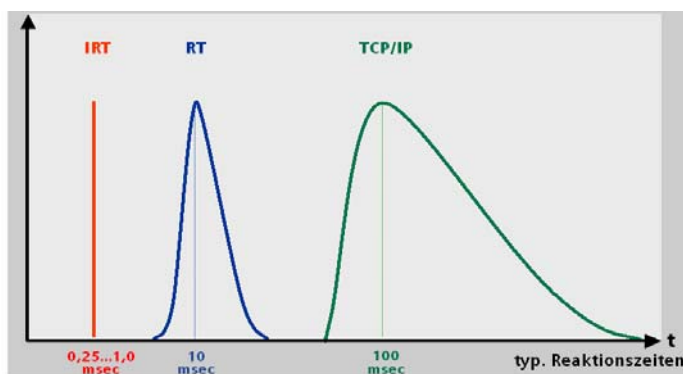
Bildquelle: Nach einer Idee des Vortrages „PROFINET IO“ in Weiterbildungsveranstaltung 5-7 der Siemens AG / Ost

Bild 2.3-5: Bildhafte Darstellung der skalierbaren Kommunikation mit IRT, RT und TCP/IP.

Für Kommunikationsaufgaben stehen somit drei Leistungsstufen skalierbar zur Verfügung (Bild 2.3-6):

- **Standard Ethernet TCP/IP** mit typischen Reaktionszeiten um 100 ms für die Übertragung von Diagnose- und Konfigurationsdaten, IT-Dienste und andere zeitunkritische Kommunikation.
 - eingesetzt für PROFINET CbA
- **Real-Time-Kommunikation (RT)** mit Reaktionszeiten um 10 ms für zyklische zeitkritische Prozessdaten und ereignisgesteuerte Meldungen und Alarme (Daten der Factory Automation). Hierbei handelt es sich um prioritätsgesteuerte Übertragung. Die Kommunikation über Standard Ethernet bleibt unbeeinflusst.
 - eingesetzt für PROFINET CbA und PROFINET IO
- **Isochrone Real-Time-Kommunikation (IRT)** mit Reaktionszeiten um 1 ms für anspruchsvolle zeitkritische Anforderungen und taktsynchrone Nutzdatenübertragung. Abweichungen von der Zykluszeit – als Jitter bezeichnet- werden mit 1 Mikrosekunde angegeben.
 - eingesetzt für spezielles PROFINET IO

Hauptanwendungsgebiet von IRT ist die Steuerung von Antriebsachsen (Motion Control). Diese um den Faktor 100 schnellere Kommunikation gegenüber Feldbussen der ersten Generation erfordert allerdings spezielle Hardware. IRT ist nur möglich mit Geräten mit dem speziellen Enhanced Real Time Ethernet Controller ERTEC.

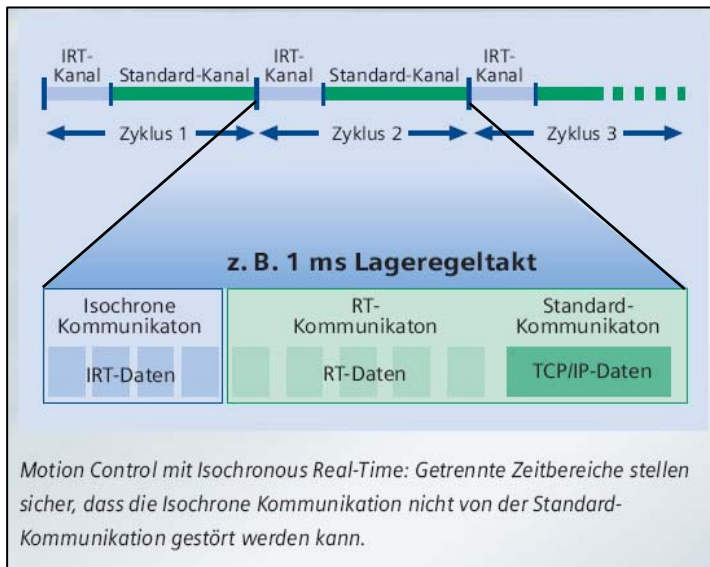


Bildquelle: Nach einer Idee des Vortrages „PROFINET IO“ in Weiterbildungsveranstaltung 5-7 der Siemens AG / Ost

Bild 2.3-6: Größenordnungen der Übertragungsgeschwindigkeiten im PROFINET Netzwerk

Die PROFINET-Kommunikation wird durch Zeitfenster gesteuert (**Bild 2.3-7**). In jedem Zeitfenster können Prozess-Daten über IRT und RT und Standard-Daten über TCP oder UDP übertragen werden. Es existieren getrennte Zeitbereiche und die isochrone Kommunikation wird nicht durch Standardkommunikation gestört. Ein spezieller deterministischer Kanal steht allein IRT-Telegrammen zur Verfügung, während RT- und TCP/IP-Telegramme im offenen Kanal transportiert werden.

Auch bei Überlastung des Datenkanals bleiben diese Verhältnisse und damit die Echtzeitfähigkeit bestehen. Prozessdaten werden dabei unter Umständen in mehreren Zeitfenstern übertragen. Die Summe aller erforderlichen Zeitfenster ergibt die Aktualisierungszeit für Prozess-Daten.



Bildquelle: Broschüre „PROFINET, der offene Industrial Ethernet Standard“ der Siemens AG

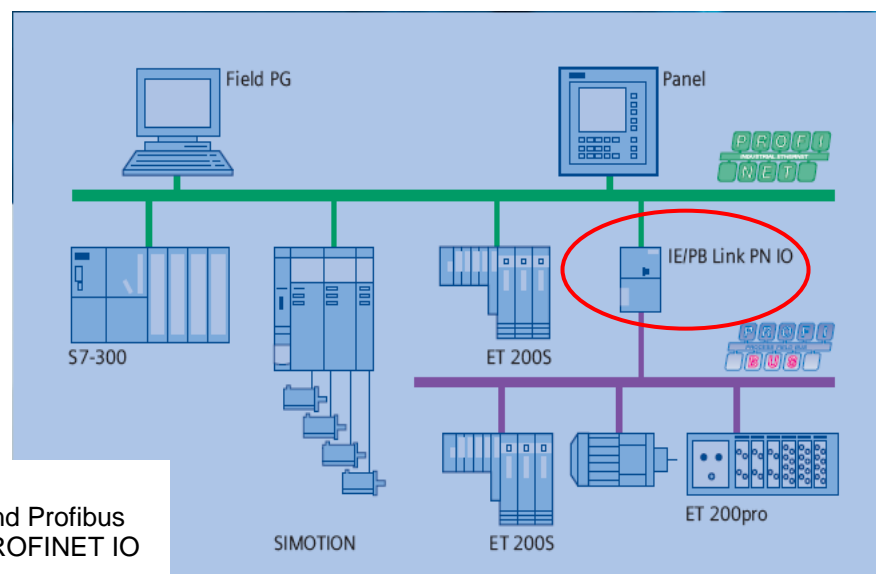
Bild 2.3-7:
Zeitfenster der skalierbaren Kommunikation in PROFINET

An ein PROFINET-Netz kann an jeder beliebigen Stelle ein PC mit Netzwerkkarte angeschlossen werden. Der **Mischbetrieb** mit Standard Ethernet Komponenten ist ohne Einschränkungen möglich.

Die Einbindung anderer Feldbussysteme war eines der Ziele bei der Entwicklung von PROFINET. **Mischsysteme** mit anderen Feldbus-Systemen werden mit einem **Proxy-Konzept** ermöglicht. Dadurch ist ein schrittweiser Umstieg auf PROFINET möglich. Von besonderem Interesse sind dabei Mischsysteme von PROFINET und Profibus_DP innerhalb Simatic S7 (**Bild 2.3-8 und 2.3-10**). Der Proxy IE/PB Link PN IO ist aus der Sicht PROFINET in Stellvertreter für ein oder mehrere Feldbusgeräte. Für das Profibus-DP-Netz ist der Proxy der Master. Mischsysteme sind auch mit CPU aufzubauen, sowohl PN- als DP-Schnittstelle besitzen.

Bildquelle:
Broschüre „PROFINET, der offene Industrial Ethernet Standard“ der Siemens AG

Bild 2.3-8:
Integration von PROFINET und Profibus über den Proxy IE/PB Link PROFINET IO



Hinsichtlich der Applikationen wurden PROFINET IO und PROFINET CBA **zwei Ausprägungen von PROFINET** entwickelt:

- **PROFINET IO**

IO steht für Input / Output. Das System dient zur Anbindung dezentraler Feldgeräte wie Sensoren, Aktoren und dezentrale Peripheriebaugruppen einschließlich Antriebstechnik an eine Steuerung. Die Kommunikation erfolgt überwiegend mit Real Time Ethernet, in der Antriebstechnik mit Isochronem Real Time Ethernet. Standardaufgaben werden mit Standard Ethernet gelöst.

PROFINET IO kennt folgende Gerätetypen (**Bild 2.3-9**):

Ein **IO-Controller** ist eine Steuerung mit Automatisierungsprogramm. Er wird mitunter auch Automatisierungsrechner genannt.

Ein **IO-Device** ist ein dezentrales Feldgerät. Es ist einem IO-Controller zugeordnet.

Ein **IO-Supervisor** ist ein Programmiergerät für Inbetriebnahme und Diagnose oder ein HMI-Gerät.

Die von Profibus-DP her gewohnte Sicht auf die Peripherie wird beibehalten. Als Folge ist die Projektierung von PROFINET IO der von Profibus-DP sehr ähnlich (Bild 2-15). An die Stelle der Profibus-Adressen treten IP-Adressen, die sich im Hintergrund auf die physikalischen Geräte-MAC-Adressen stützen. Das Master-Slave-Prinzip von Profibus-DP wird durch ein Provider-Consumer-Modell ersetzt, weil bei Ethernet alle Netzteilnehmer vom Grundsatz her gleichberechtigt sind.

Der Automatisierungsrechner steuert die Feldgeräte über die Prozessabbilder der Ein- und Ausgänge. Dies erfolgt analog dem Polling des Master-Slave-Prinzips von Profibus-DP. Der Gerätestammdatei GSD entspricht bei PROFINET IO eine GSDML-Datei. Sie wird in der Sprache XML erstellt.

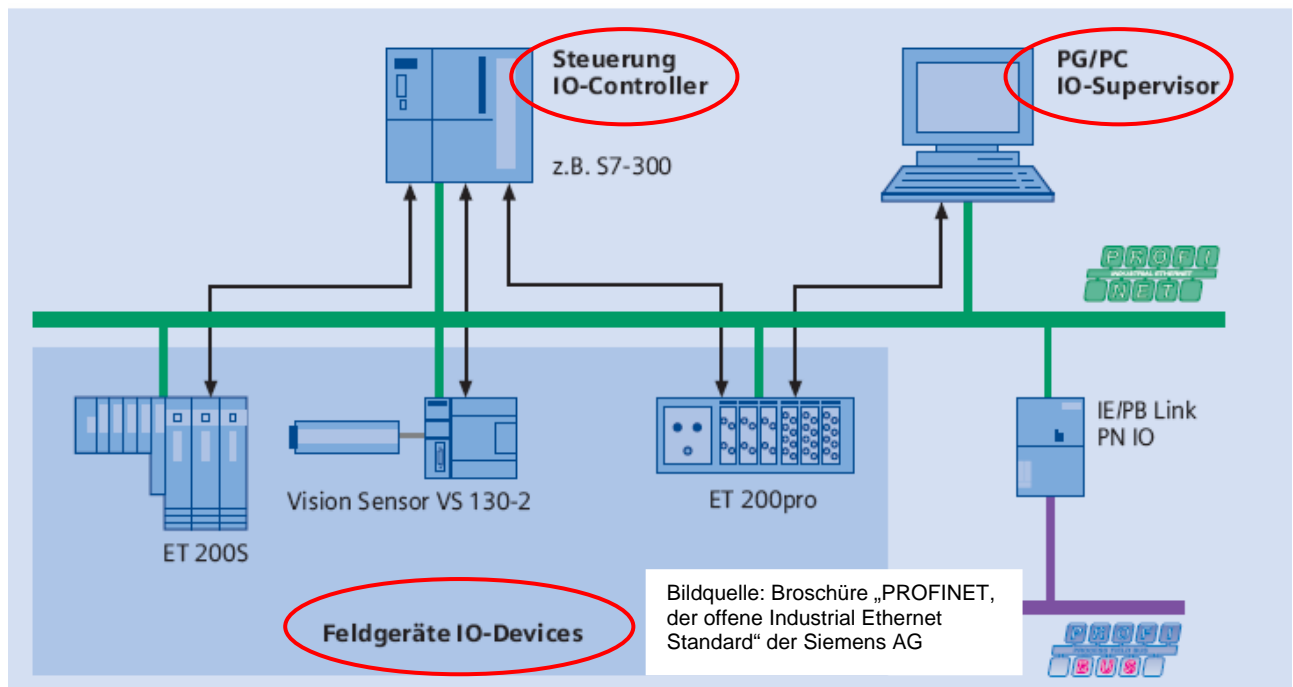


Bild 2.3-9: Gerätetypen bei PROFINET IO

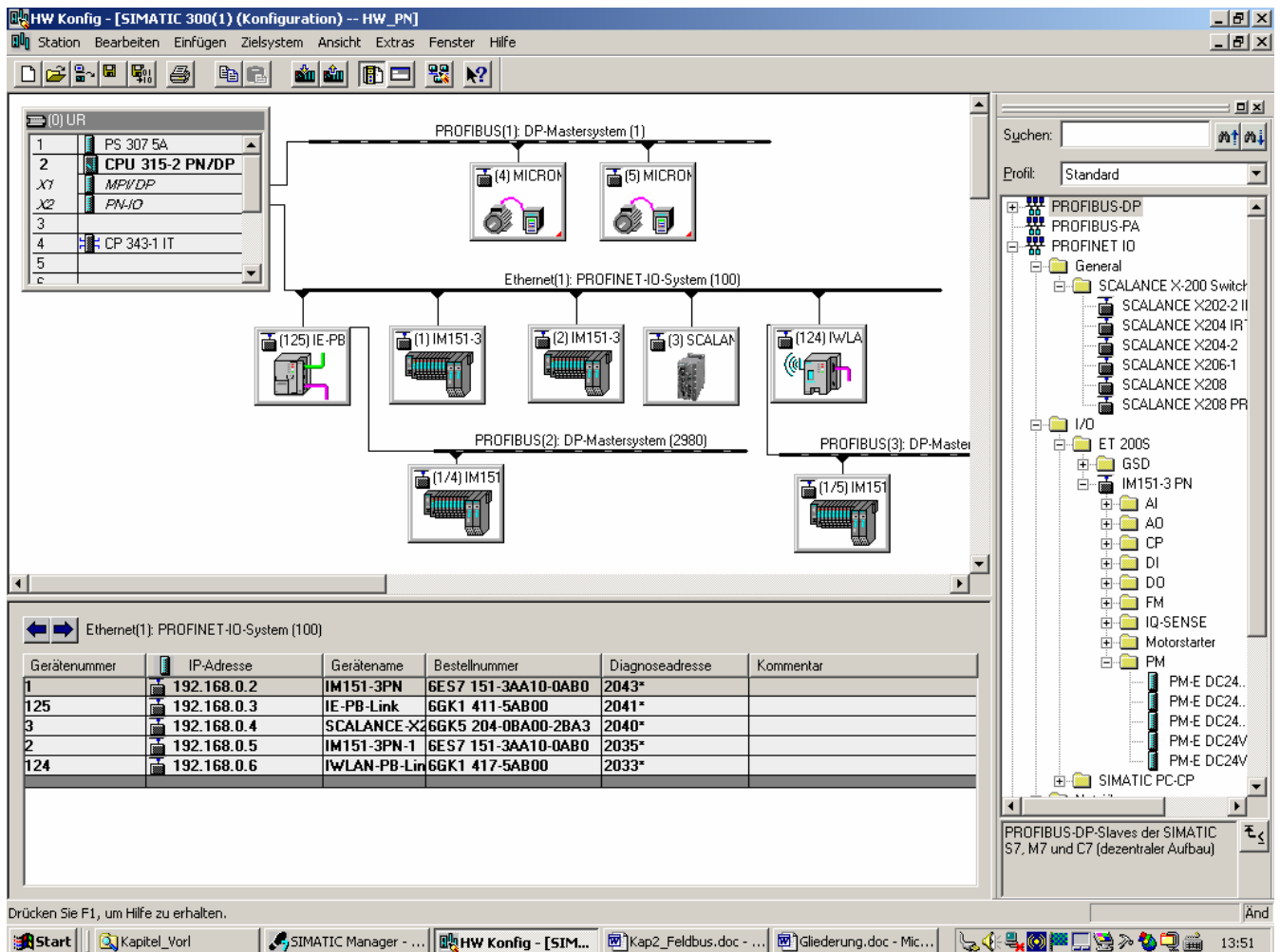


Bild 2.3-10 : Beispiel einer HW-Konfiguration im System Simatic S7 / Step7 mit PROFINET IO und PROFIBUS_DP

Erläuterungen zu Bild 2.3-10:

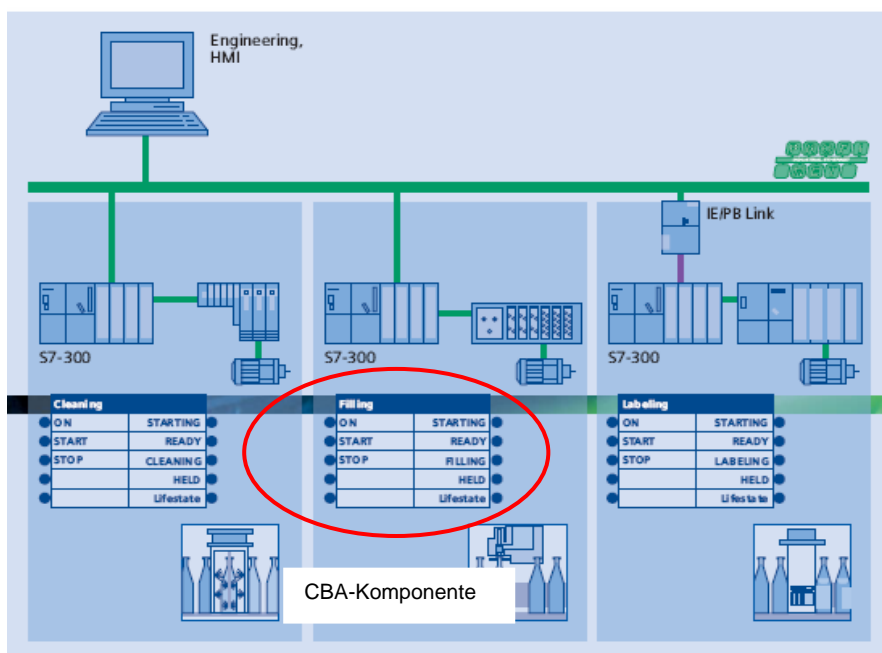
- Rechts ist der Hardware-Katalog geöffnet. Der „Warenkorb“ für PROFINET IO ist noch begrenzt!
- Oben erscheint die Übersicht über alle Komponenten: Eingesetzt wurde eine CPU 315-2PN/DP. Diese spannt sowohl ein Profibus-Netz (1) als auch ein Ethernet-Netz (1), spezifiziert als PROFINET IO auf.
- An PROFINET I sind angeschaltet:
 - zwei ET200S mit PROFINET Anschaltbaugruppe als dezentrale Peripherie
 - ein IRT-fähiger Switch Scalance
 - IE-PB-Link. Dieser spannt das Profibus-DP-Netz (2) auf, an dem eine ET200S mit Profibus-Anschaltbaugruppe als Slave arbeitet.
 - ein IWLAN-PB-Link. Dieser spannt drahtlos das Profibus-DP-Netz (3) auf, an dem wiederum eine ET200S mit Profibus-Anschaltbaugruppe als Slave arbeitet.
- Die zweite auf MPI / DP parametrierbare Schnittstelle der CPU spannt das Profibus-DP-Netz(1) auf. An dieses sind zwei Frequenzumrichter Micromaster 420 angeschaltet.
- Markiert wurde in der Übersicht das Ethernet-Netz. Als Folge erscheint in der Detailsicht unten die Übersicht der angeschalteten Geräte mit ihrer IP-Adresse.

• **PROFINET CBA**

CBA steht für Component based Automation. Das System wurde für **Verteilte Automatisierung** entwickelt und dient der Vernetzung intelligenter Anlagenteile in einer neuen Qualität. Dazu werden die Programme technologischer Module **in Softwaremodule gekapselt**, welche nach außen ähnlich wie Funktionsblöcke nur durch ihre Eingangs- und Ausgangssignale in Erscheinung treten (**Bild 2.3-11**). Selbstverständlich sind solche Softwaremodule wiederverwendungsfähig. Mehr als in der Vergangenheit darf man hier von „verteilter Intelligenz“ sprechen.

Ausgangspunkt ist die seit langem bewährte Vorgehensweise bei der Modularisierung von Maschinen und Anlagen. Zur Senkung der Ingenieuraufwände werden hier seit langem wiederverwendbare Module eingesetzt. Vorbild für PROFINET CBA waren Details der NORM IEC 61499.

Die mit Simatic S7 erstellte Automatisierungslösung eines Moduls wird mit Step7 in eine PROFINET-Komponente „verschachtelt“. Zum Beispiel kann eine ganze Feldbus-Anwendung als eine solche Komponente abgebildet werden, wenn der Master PROFINET-fähig ist.



Bildquelle: Broschüre „PROFINET, der offene Industrial Ethernet Standard“ der Siemens AG

Bild 2.3-11: Component based Automation mit Einsatz wiederverwendbarer Module aus Mechanik, Elektrik und nunmehr auch Automatisierungstechnik einschließlich Software

Eine solche Komponente wird dann durch eine Component Description Datei (PCD) in der Sprache XML beschrieben. Bei Wiederwendung wird die Komponente mit der **Software Simatic iMap** in eine bestehende Anlage eingebunden, d.h. verschaltet. Dies erfolgt durch einfaches graphisches Projektieren. Das aufwändige Programmieren von Kommunikationsbeziehungen entfällt!

Die Kommunikation zwischen den Komponenten basiert auf den skalierbaren Leistungsstufen von PROFINET.

Bild 2.3-12 zeigt ein Beispiel der Arbeit mit Simatic iMap. Mit dem Simatic Manager (Step7) wurden fertig konfigurierte Controller und Device verschaltet. Dabei wurde festgelegt, welche Variablen nach außen sichtbar werden sollen. Anschließend werden mit dem Tool iMap die gewünschten Verbindungen angelegt.

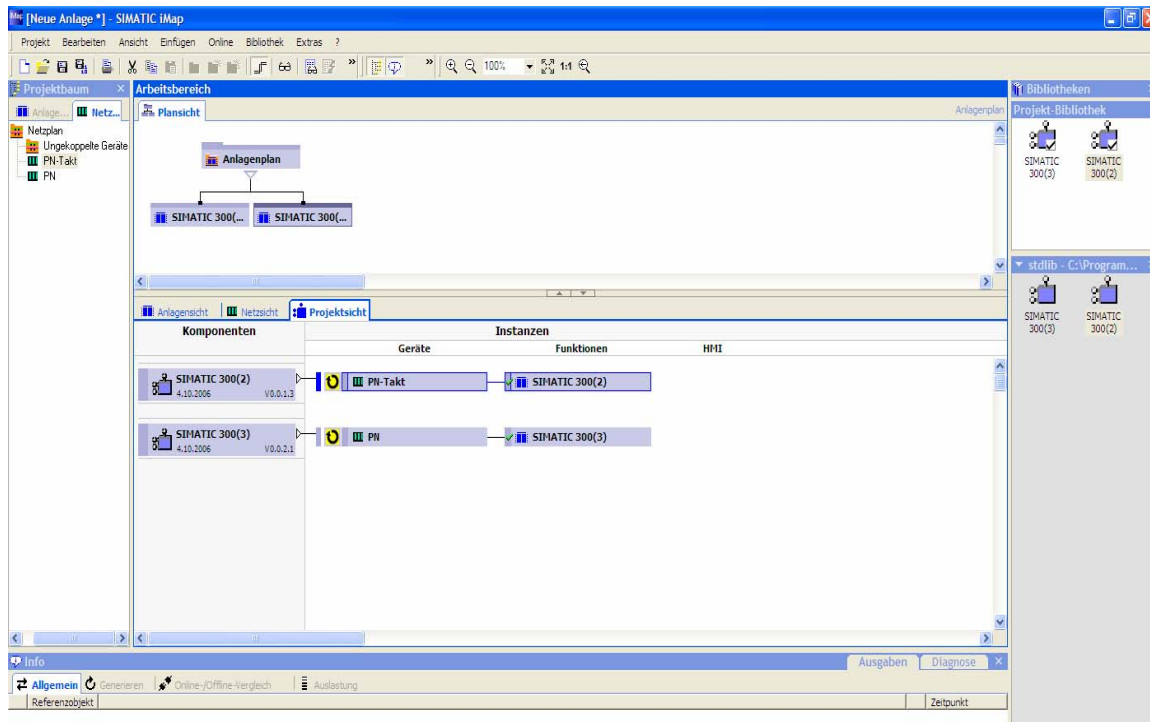


Bild 2.3-12: Einfachste Verschaltung zweier PROFINET-Komponenten mit Simatic iMap.

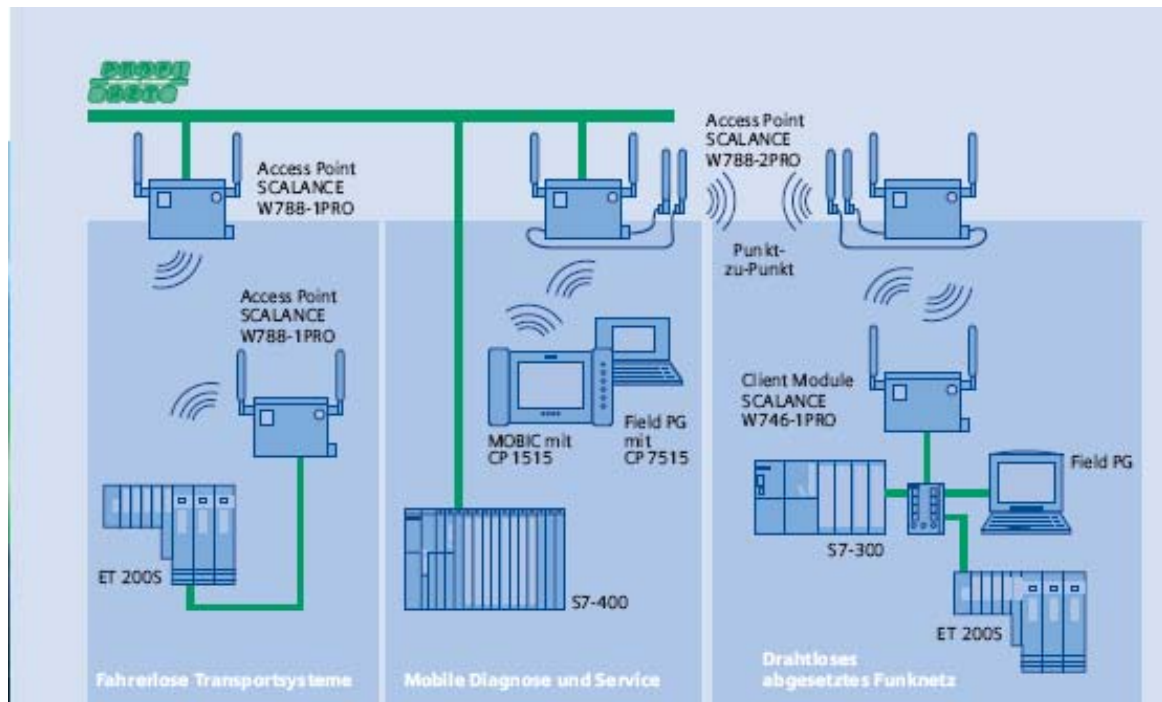
- **Netzgestaltung mit PROFINET**

PROFIBUS International unterstützt Anlagenbauer mit der „**Installation Guideline PROFINET**“, (-> www.profibus.com) bei der Installation von PROFINET Netzwerken. Dies erfolgt auf der Grundlage der Norm ISO/IEC 11801 sowie ihres europäischen Äquivalentes EN 50173.

PROFINET-Netze werden nach den Richtlinien für anwendungsneutrale Standardvernetzung nach IEC 11801 als industriegerechtes Fast Ethernet errichtet. Dabei sind spezifische industrielle Anforderungen hinsichtlich Temperatur, elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV), Maschinenvibrationen, Feuchtigkeit oder chemischer Belastungen durch ölige oder aggressive Medien zu berücksichtigen.

Für die Integration von Profibus-DP-Netzen in PROFINET wird es Proxy's in Form von PROFINET-Profibus-Link's und weiter auch CPU's mit PROFINET- und Profibus-Schnittstelle geben. Erste solche CPU's (Stand 03/2007) sind die „Technologie-CPU“ 317-2PN/DP sowie die CPU 315-2DP/PN. PROFINET – Komponenten von Siemens umfassen Controller, Dezentrale Peripherie, HMI-Geräte und weiter auch Netzinfrastruktur-Komponenten wie Industrial Ethernet Switches, Industrial Wireless LAN, Industrial Security Software sowie Netzleitungen und Stecker mit höheren Schutzgraden.

PROFINET unterstützt die drahtlose Kommunikation mit **Industrial Wireless LAN**. Dafür werden Komponenten des Systems Scalance W (**Bild 2.3-13**) bereitgestellt.



Bildquelle: Broschüre „PROFINET, der offene Industrial Ethernet Standard“ der Siemens AG

Bild 2.3-13: Beispiele für PROFINET-Netzgestaltung mit Industrial Wireless LAN (System Scalance W)

2.3.3 Ethernet-Powerlink

Eine weitere bedeutende Entwicklung in Richtung Echtzeit-Ethernet ist neben PROFINET und EtherCAT das System Ethernet-Powerlink. Es wurde als Protokollerweiterung zu Ethernet erstmals 2001 vom Unternehmen Bernecker&Rainer Industrieelektronik vorgestellt. Im Grundsatz wird auch hier der Datenverkehr auf dem Ethernet-Medium zeitlich organisiert, um Kollisionen von Datenrahmen zu vermeiden. Diese Aufgabe übernimmt ein Datenmanager. Durch dessen zusätzlichen „Zeitscheibenmechanismus“ werden zeitkritische Objekte synchronisiert und zeitkritische Daten schnell und isochron übertragen. Standarddaten werden dagegen in einem anderen dafür reservierten Kanal übermittelt, wodurch der Mischbetrieb mit Standard-Ethernet gewährleistet ist.

Einige grundsätzliche Organisationsprinzipien des Ethernet-Powerlink wurden in Anlehnung an das Bussystem CANopen getroffen, wodurch das Zusammenwirken von Ethernet-Powerlink und CANopen erleichtert wird. Die Entwicklung ist sehr aktuell: Im Busklemmensystem WAGO-IO-750 gibt es seit I/2006 neben dem Koppler für Profinet auch einen Koppler für Ethernet-Powerlink V2.0.

Es ist derzeit nicht abzusehen, dass es einen einheitlichen Kommunikations-Standard Echtzeit-Ethernet geben wird. Aufmerksamkeit ist geboten: Die Systeme werden in hohem Tempo weiterentwickelt und man kann prognostizieren, daß viele derzeitige Feldbussysteme integriert oder abgelöst werden.