

Internet und Fernservice - neue Möglichkeiten zur  
Nutzung in Automatisierungssystemen auf der  
Basis Embedded Systems am Beispiel der  
Steuerung einer modernen Windenergieanlage



**NORDEX Energy GmbH**

**Cetral Engineering (CE)**

**Dr. - Ing. Wolfgang Kabatzke**

**Bornbarch 2**

**D – 22 848 Norderstedt**



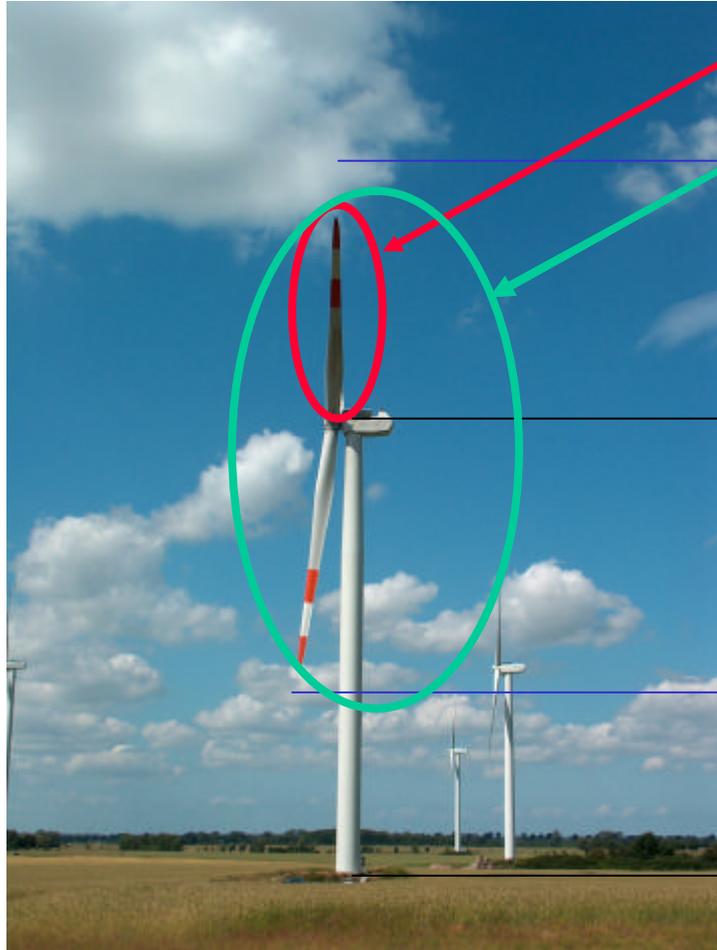
# Agenda



1. Die Aufgabenstellung in der Automatisierung einer Windenergieanlage
2. Die praktische Umsetzung des webbasierten Steuerungskonzeptes zur Steuerung und Diagnose einer WEA
  - ▶ 3.1 Aufgabenstellung
  - ▶ 3.2 Hardware- und Softwarekonzepte
  - ▶ 3.3 Vernetzung von Windenergieanlagen
  - ▶ 3.4 Betriebssteuerung und Regelung
  - ▶ 3.4 Umsetzung und Erfahrungen
3. Zusammenfassung
4. Demo / Vorführung im Raum „Hunsrück“



## Dimensionen einer modernen Windenergieanlage



- Gewicht eines Rotorblattes: 10t
- Gewicht der Gondel: 150-170t

80m

90m

# Die WEA – ein „praktisches“ Kraftwerk

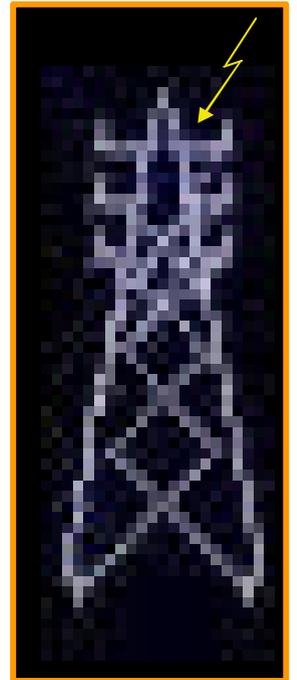


## Kraftwerk

Wind-  
energie



Elektrische  
Energie



# Aufgabenstellung

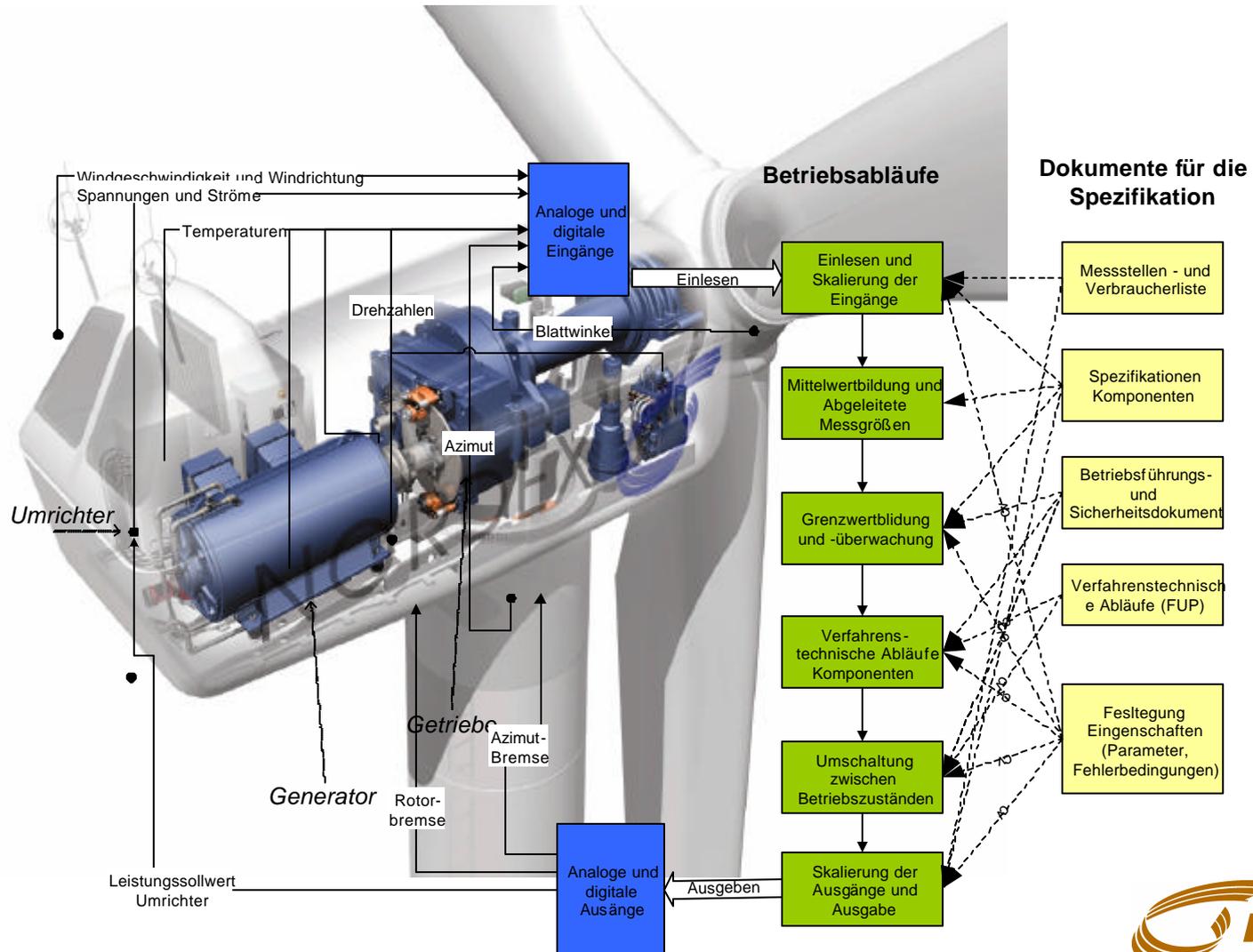
## Steuerung und B&B für NORDEX N80/N90:



- **Steuern (Realtime) und Bedienen und Beobachten (B&B) auf einer Hardwareplattform**
- **Steuern - Aufgaben**
  - ▶ Steuerung und Regelung der verfahrenstechnischen Abläufe der WEA,
  - ▶ Drehzahl- und Leistungsregelung,
  - ▶ Berechnung, Darstellung und Archivierung sämtlicher Betriebs- und Produktionsdaten,
  - ▶ Aufzeichnung von Signalen (Statusanzeigen), Alarmen, Kurz- und Langzeittrends,
  - ▶ Parkvernetzung, Fernwartung und Alarmierung,
  - ▶ Sondereinstellungen wie Nachtabsenkung, Schattenwurfmodul, Lärmbegrenzung, Leistungsbegrenzung (Forderung EVU)
- **Hochdynamische Prozesse**
  - ▶ Hohe zeitliche Anforderungen an Steuerung und **Regelung**
- **Programmierung von Anlagenteilprogrammen in**
  - ▶ Nach IEC 61131
  - ▶ HLL
- **Erstellung plattformunabhängiger SW**

# WEA - Grundlagen

## Übersicht der Steuerung



# Aufgabenstellung

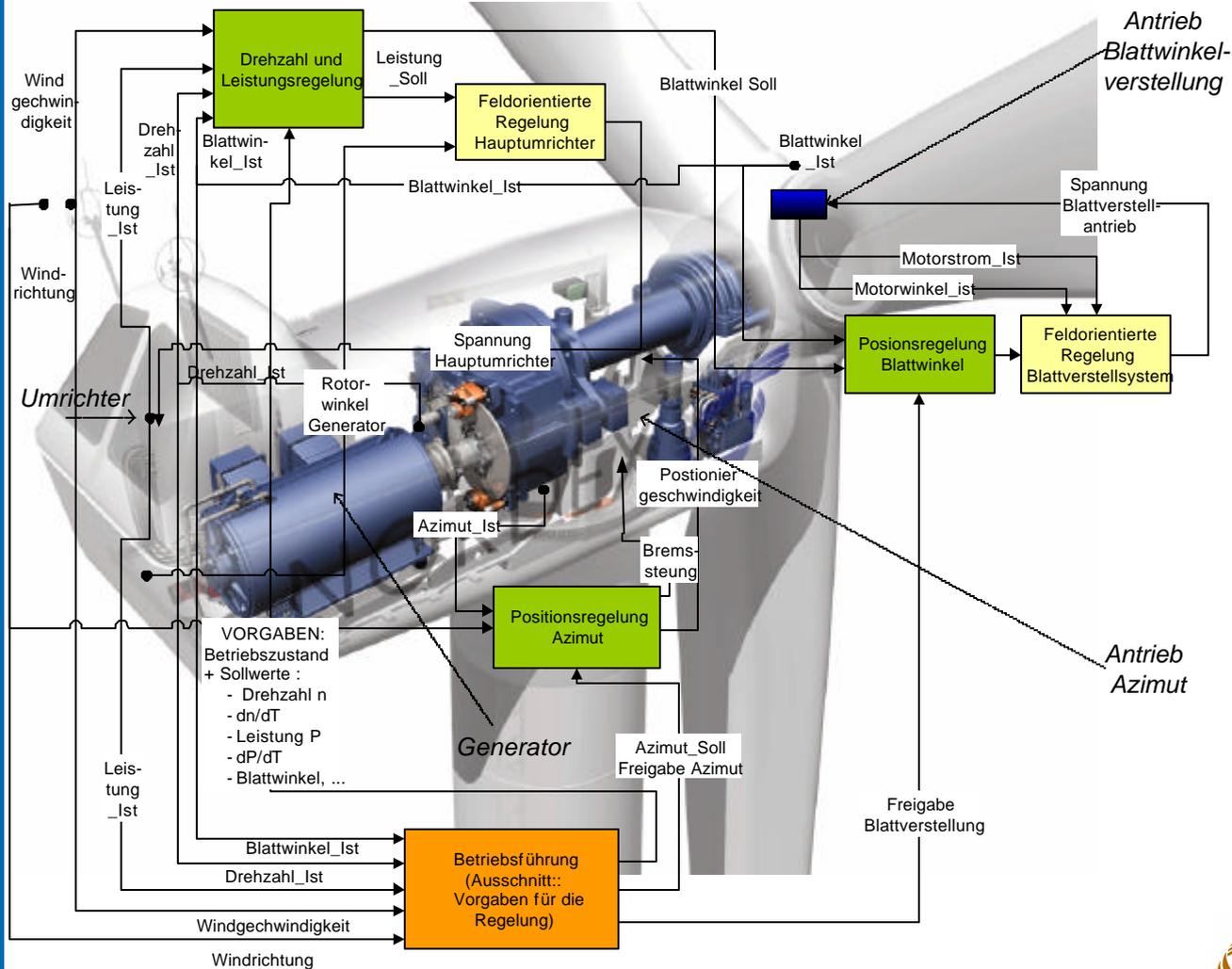
## Steuerung und B&B für NORDEX N80/N90:



- Steuern (Realtime) und Bedienen und Beobachten (B&B) auf einer Hardwareplattform
- Bedienen und Beobachten - Aufgaben
- B&B über das Internet - weltweit
  - ▶ Statistik, Anlagensteuerung
- Ferndiagnose über das Intranet und das Internet
- Userlevelgesteuerte Visualisierung
- Nutzung von Standardbrowsern für B&B

# WEA - Grundlagen

## Übersicht der Regelung



# Herausforderung: rechenintensive Regelung / Automation



$$P_{Aero} = \left[ 2 \cdot \rho \cdot r_{rot} \cdot \frac{n_{gen}}{\dot{u}_{getr}} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{l(n_{rot})} \right]^3 \cdot \rho \cdot r_{rot}^2 \cdot \frac{r_{luft}}{2} \cdot c_p(n)$$

• **Verfügbare Energie „im Wind“ (am Rotor)**

• PID-Regler

$$\Delta y = k_{PR} \cdot e + k_{IR} \cdot \int e dt + k_{DR} \cdot \dot{e}$$

• nichtlinear

$$P_{Netz_{B1}} = P_{Aero} - P_{V_{elk}} - P_{V_{mech}}$$

$$P_{V_{elk}} = C_{0_{Aero}} + C_{1_{Aero}} \cdot P_{Aero} + C_{2_{Aero}} \cdot P_{Aero}^2$$

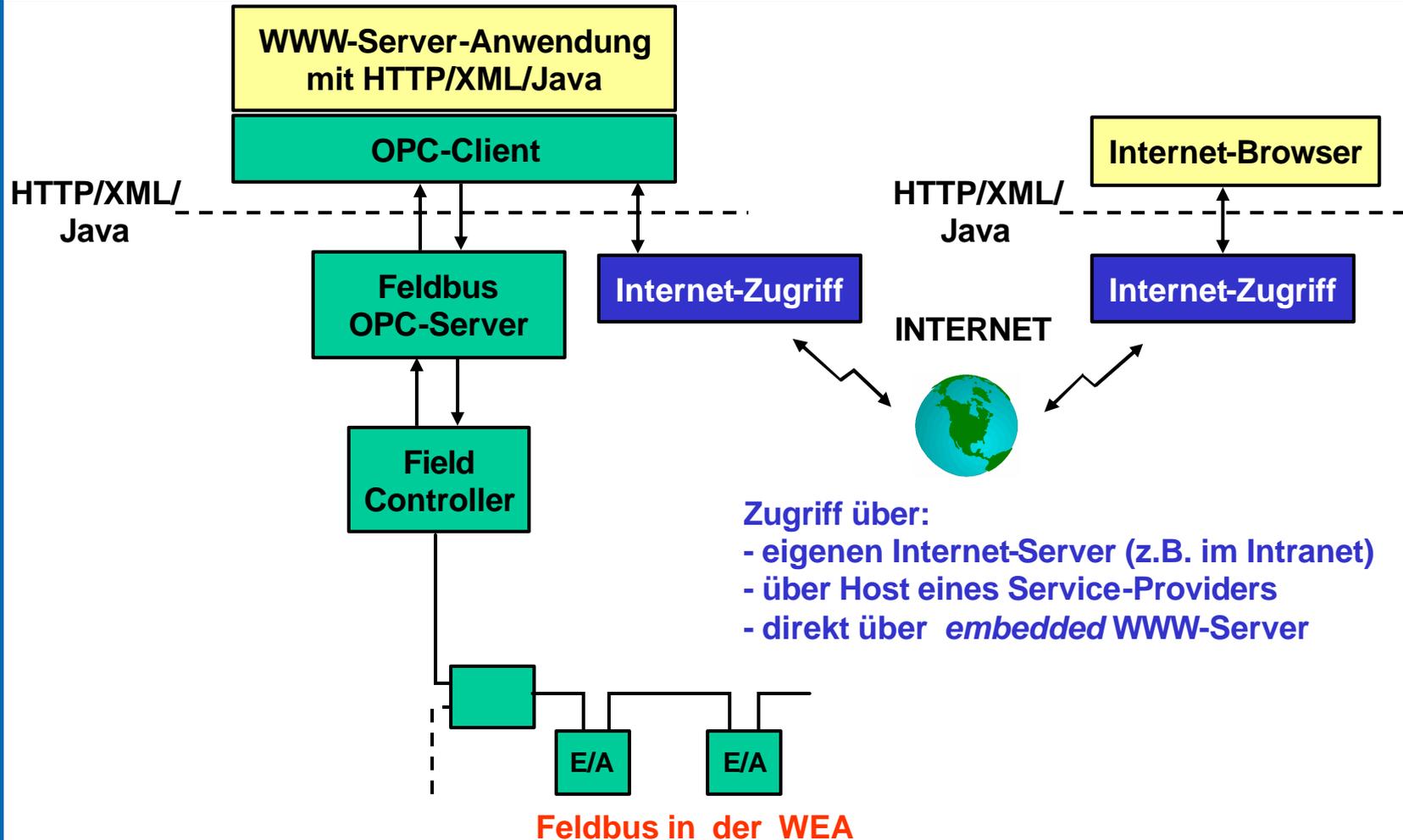
$$P_{V_{mech}} = B_{0_{Aero}} + B_{1_{Aero}} \cdot P_{Aero} + B_{2_{Aero}} \cdot P_{Aero}^2$$

• **Nutzbare Energie „am Netz“ und nichtlineare Verluste**

# Aufgabenstellung

## Steuerung und B&B für NORDEX

### N80/N90/N9X: Endausbau



## Vorteile der Gesamtlösung



- Vorteile gegenüber proprietären, herstellerbezogenen Systemen:
  - ▶ langfristig gesicherter Service,
  - ▶ Flexibilität bei Anlagenerweiterungen,
  - ▶ hohe Verfügbarkeit und Transparenz,
  - ▶ Reaktionsfähigkeit auf neue Anforderungen und Richtlinien,
  - ▶ Investitionsschutz für Betreiber.

# Steuerung, Regelung, Betriebsführung – welche Hardware?



- Industrie-PC als Software-SPS mit Laufzeitsystem:
  - ▶ Typ: Remote Field Controller (RFC),
  - ▶ Hardwarestandard PC/104,
  - ▶ Echtzeitbetriebssystem VxWorks,
  - ▶ Laufzeitsystem für IEC 61131-3: ProConOS (Soft-SPS),
  - ▶ Prozessbus-Anschaltung für dezentrale Ein- und Ausgabe der Sensorik und Aktorik,
  - ▶ Programmierung nach IEC 61131-3 und in HLL,
  - ▶ Kopplung zum Visualisierungssystem über Ethernet, TCP/IP, OPC.



- Das Visualisierungssystem basiert auf folgenden Hard- und Softwarekomponenten:
  - ▶ All-in-One-Panel-PC mit Touch-Screen und Massenspeicher (oder jeder andere PC auf der Welt),
  - ▶ Betriebssystem Windows NT 4.0 oder Windows 2000,
  - ▶ Visualisierungssystem HTML / XML basierend.

# Vernetzung von Windenergieanlagen – ein absolutes Muss

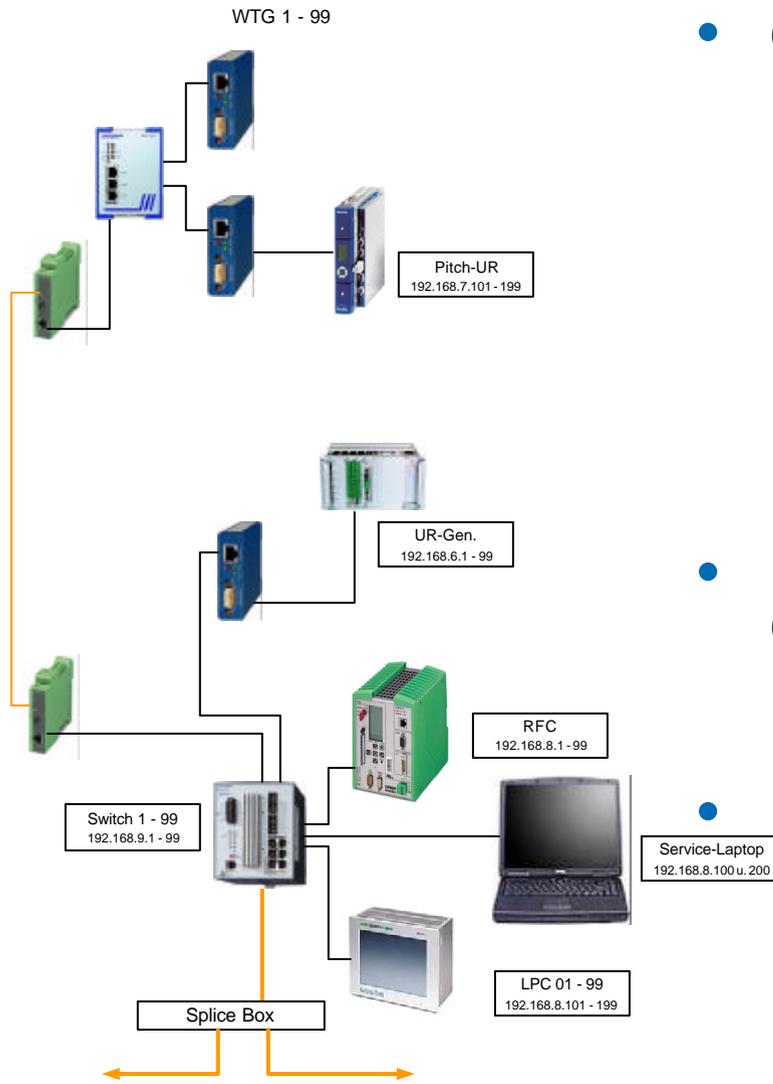


- viele eingebaute Komponenten einer WEA, wie z. B.
  - ▶ der Hauptumrichter
  - ▶ die Pitchumrichter für die aktive Rotorblattverstellung
  - ▶ Bediencomputer (Vor-Ort-Visualisierung) Local PC (LPC)
  - ▶ Die Steuerung selber
  - ▶ Die Anbindung an das Telefonnetz zur Anlagenkommunikation intern-extern

sind intelligente Komponenten

- Diese Komponenten als intelligente Komponenten benötigen einen externen Zugang, sehr oft folgende Aufgaben zu lösen sind:
  - ▶ Firmware-Update (Hauptumrichter, Pitch-Umrichter)
  - ▶ Fernupdate der Applikation (Steuerung Embedded PC)
  - ▶ Diagnose der intelligenten Komponenten (Hauptumrichter, Pitch-Umrichter, Steuerung)
  - ▶ Prozessdatenvisualisierung

# Das WEA-Netz



- Class-C-Netzwerk

- Diese Adressen werden im Internet nicht vergeben und daher auch nicht geroutet - sie sind damit dort nicht sichtbar.

- Das bedeutet, dass sie für Firmennetze beliebig häufig eingesetzt werden können.

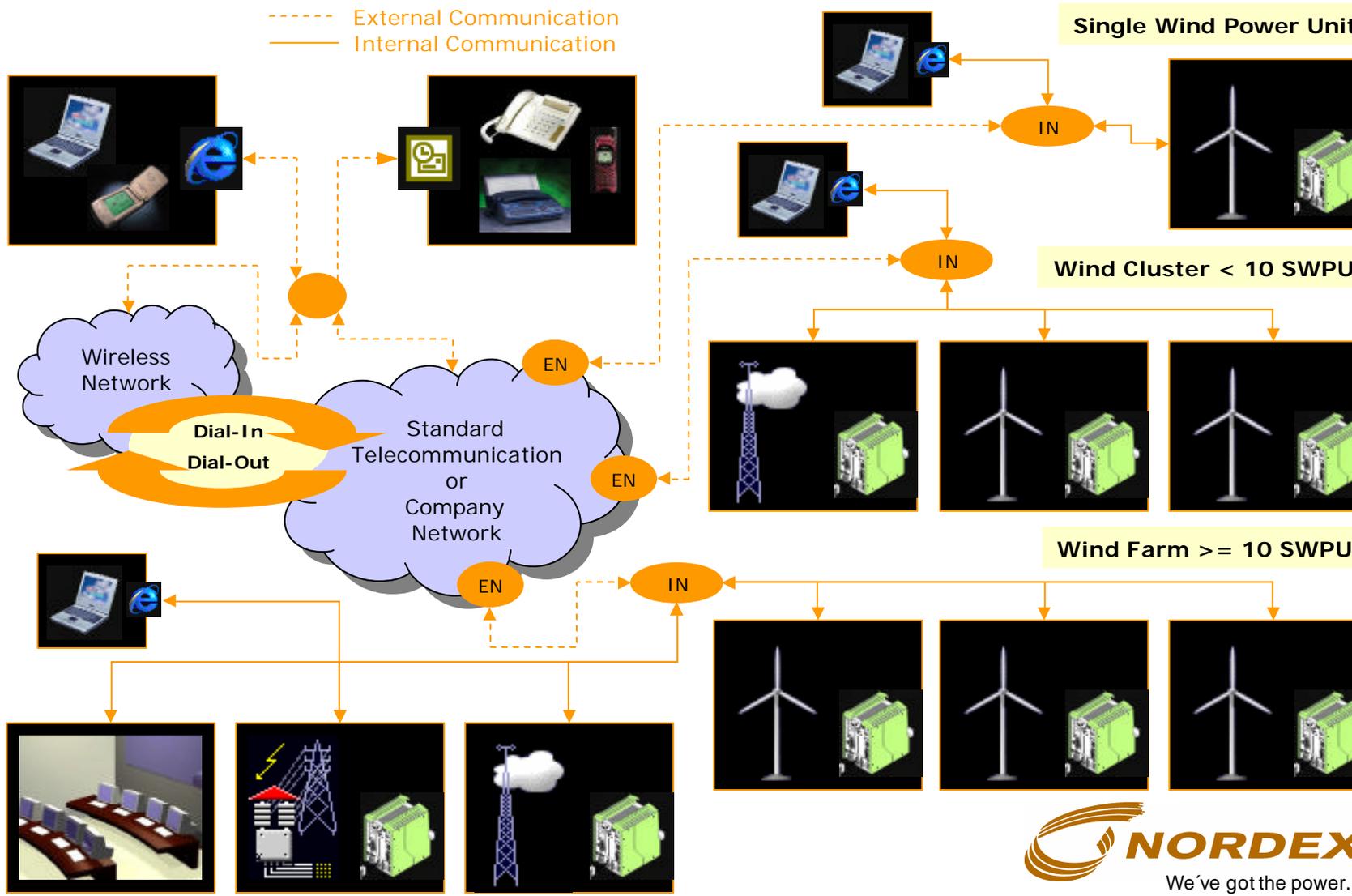
- Die Standard-Subnet-Maske für dieses Class-C-Netzwerk lautet:

- Classe C - 255.255.255.0

- Der Adressbereich lautet:

- Class C - 192.168.x..y

# Der Windpark: Eine aufgabenorientierte Struktur



# Die Vernetzung mehrerer WEA innerhalb eines Windparks



- Die Vernetzung mehrerer Windenergieanlagen in einem Windpark erfolgt über ein fehlertolerantes Ethernet-Netzwerk mit 100 Mbit/s und TCP/IP-Protokoll auf Basis von Lichtwellenleiter-Technik.
- Der industrietaugliche Aufbau wird mit lüfterlosen Hubs und Switches bis  $\vartheta_U = 60^\circ \text{ C}$  realisiert. Die Vernetzung innerhalb der WEA erfolgt mit Twisted-Pair-Kabeln.
- Es besteht die Möglichkeit, unabhängige Einwahlpunkte der Telekommunikation einzurichten, so dass mehrere Kanäle über ISDN-Terminaladapter oder Modem für Kunden und Service zur Verfügung stehen.
- Auch eine Alarmierung über Pager, Fax, SMS oder E-Mail ist möglich.
- Besondere Anforderungen an die Vernetzung innerhalb eines Windparks stellen die sehr großen Entfernungen und die Anzahl der einzelnen WEA
  - ▶ Beispiel: Windpark
  - ▶ Anzahl WEA: ca. 30 WEA
  - ▶ flächenmäßige Ausdehnung z. B. 5km \* 2km

# Datengewinnung innerhalb einer WEA und Datenbereitstellung



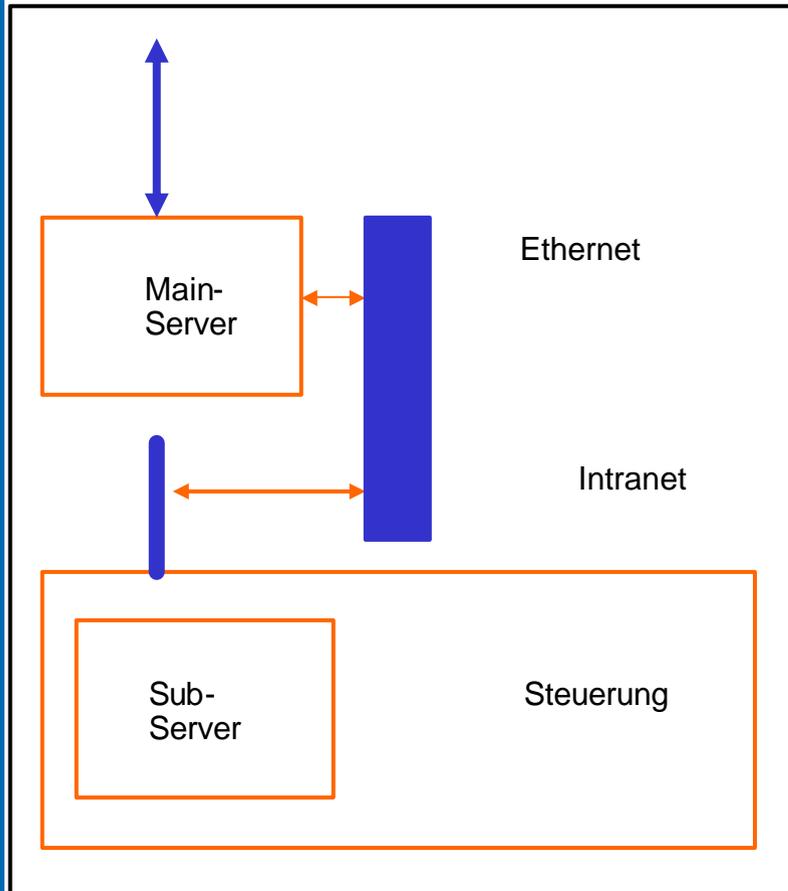
- Die Hauptaufgabe eines Embedded Systems im konkreten Fall ist es eine WEA zu steuern oder zu überwachen und Daten zu generieren (Datenserver / Subserver))
- Zur Realisierung der Serverfunktionalität gelangen in der Automationspraxis 2 Konzepte zum Einsatz

Variante 1		Variante 2	
Reine embedded Systems mit leistungsfähigen CPU, Realtime-OS und embedded WWW-Server, Netzwerkanschluss, (Software-SPS optional)		embedded System mit CPU und Realtime-OS (evtl. mit Software-SPS) und LAN-Verbindung (ohne embedded WWW-Server)	
Einsatzfälle	embedded Systems, kompakte Steuerungen	Einsatzfälle	embedded Systems, größere Steuerungen
	kleine Steuerungen und Systeme mit begrenzter (einfacher) Funktionalität		Steuerungen und komplexere Systeme
Besonderheiten	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. RTOS</li> <li>2. Programmierung in HLL</li> <li>3. Wenn Software-SPS, dann kleine Software-SPS</li> <li>4. Netzwerkanschluss</li> <li>5. Embedded WWW-Server</li> </ol>	Besonderheiten	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. RTOS</li> <li>2. Leistungsfähigere Software-SPS</li> <li>3. Programmierung in HLL</li> <li>4. Prozessbusanschluss</li> <li>5. Netzwerkanschluss</li> <li>6. kein Embedded Webserver</li> </ol>

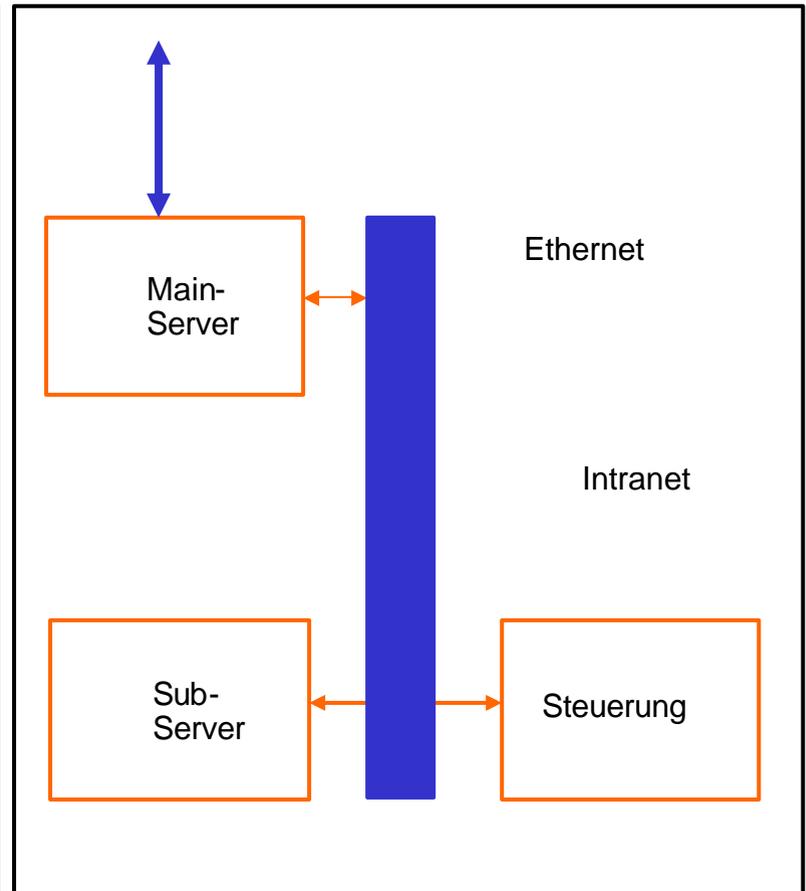
# HTTP-Server als Daten-Server für Embedded Systems (Ein-Rechner-Lösung und Zwei-Rechner-Lösung)



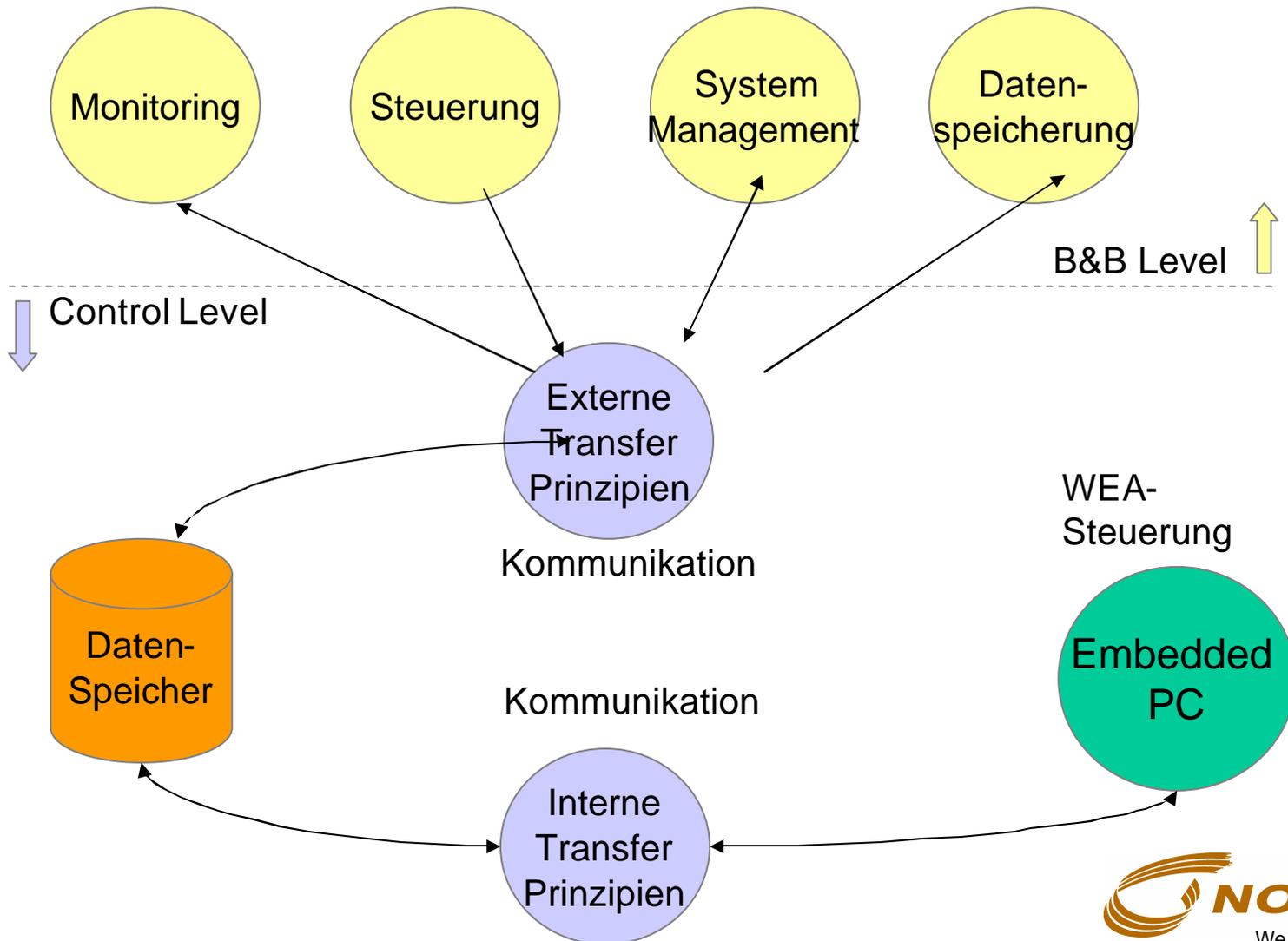
Internet



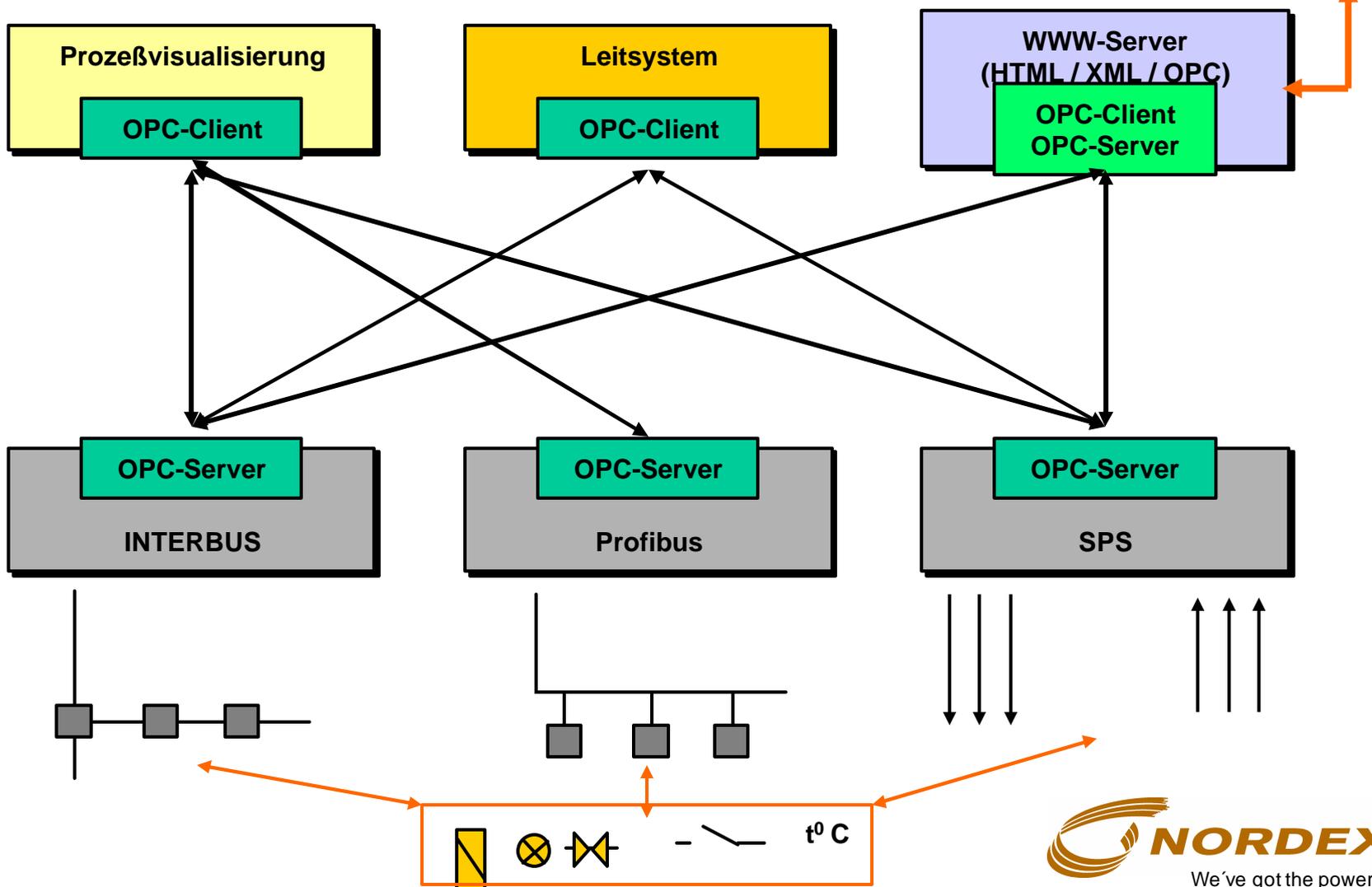
Internet



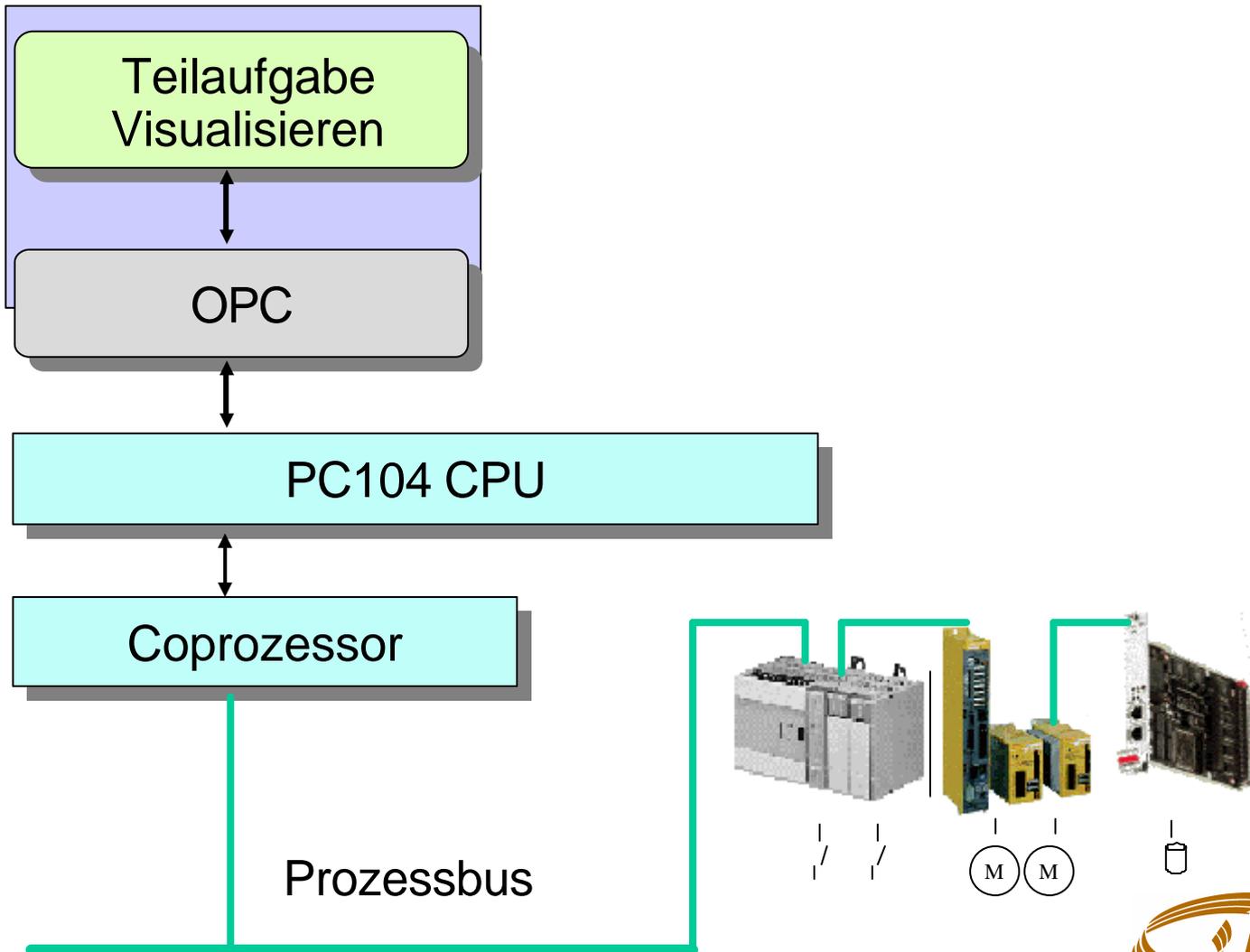
# Softwarestruktur des WEA-Systems (aufgabenorientierte Darstellung)



# OLE for Process Control (OPC)



# Embedded PC, Steuerung, Aufteilung in funktionale Teilaufgaben



# WEA-B&B mit Web-Service - Ergebnisse

## Access Security und User Management

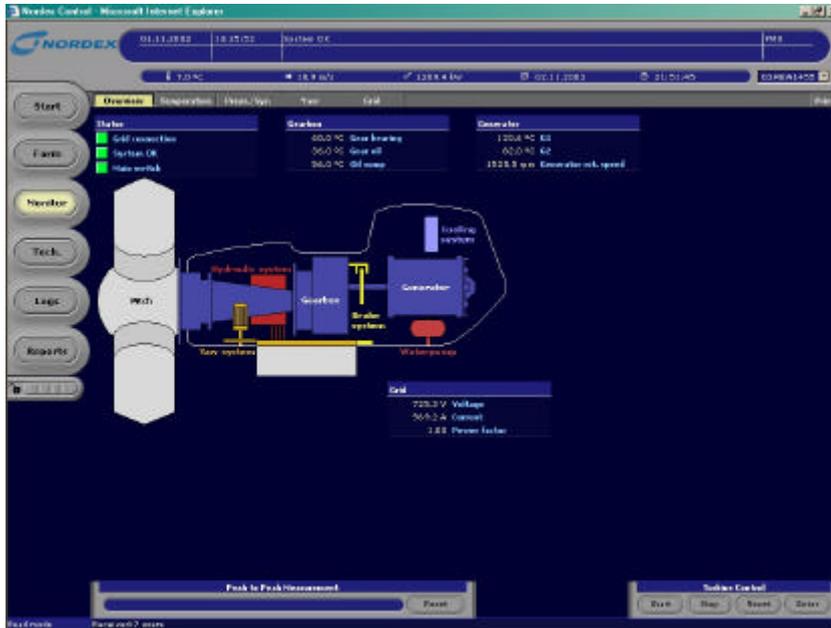


The screenshots illustrate the web interface for user management and access control. The top window shows a login form with fields for Username, Password, Operator, and Access level. The middle window displays a table with columns for 'User Name', 'Access Level', and 'Status'. The bottom window displays a table with columns for 'User Name', 'Access Level', and 'Access Granted'.

- ▶ User-Name und passwortgeschützter Zugang
- ▶ Verschiedene Zugangs-Level
- ▶ Zugangs-Level abhängiger Daten- und Dienst-Zugriff
- ▶ Zeitstempel Logging für alle Anwender-Anmeldungen

# WEA-B&B mit Web-Service - Ergebnisse

## Command and Setpoint Control



### Command and Setpoint Control für

- ▶ WEA
- ▶ Wind Farm Management System

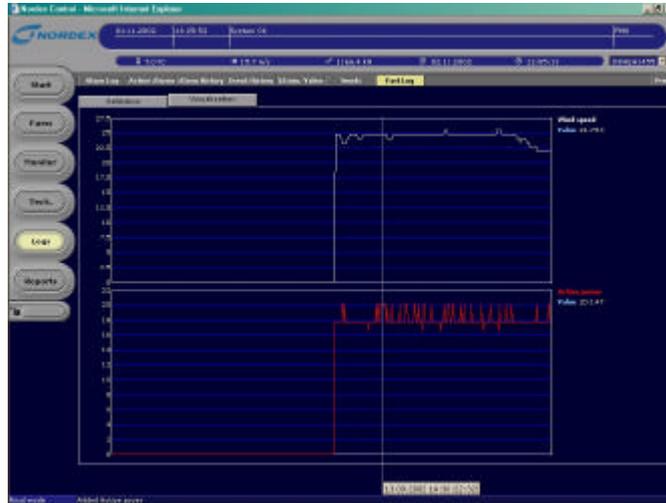
### Command and Setpoint Control mit

- ▶ Kommando- Buttons
- ▶ Parameterlisten



# WEA-B&B mit Web-Service - Ergebnisse

## Logging



### Fast Log

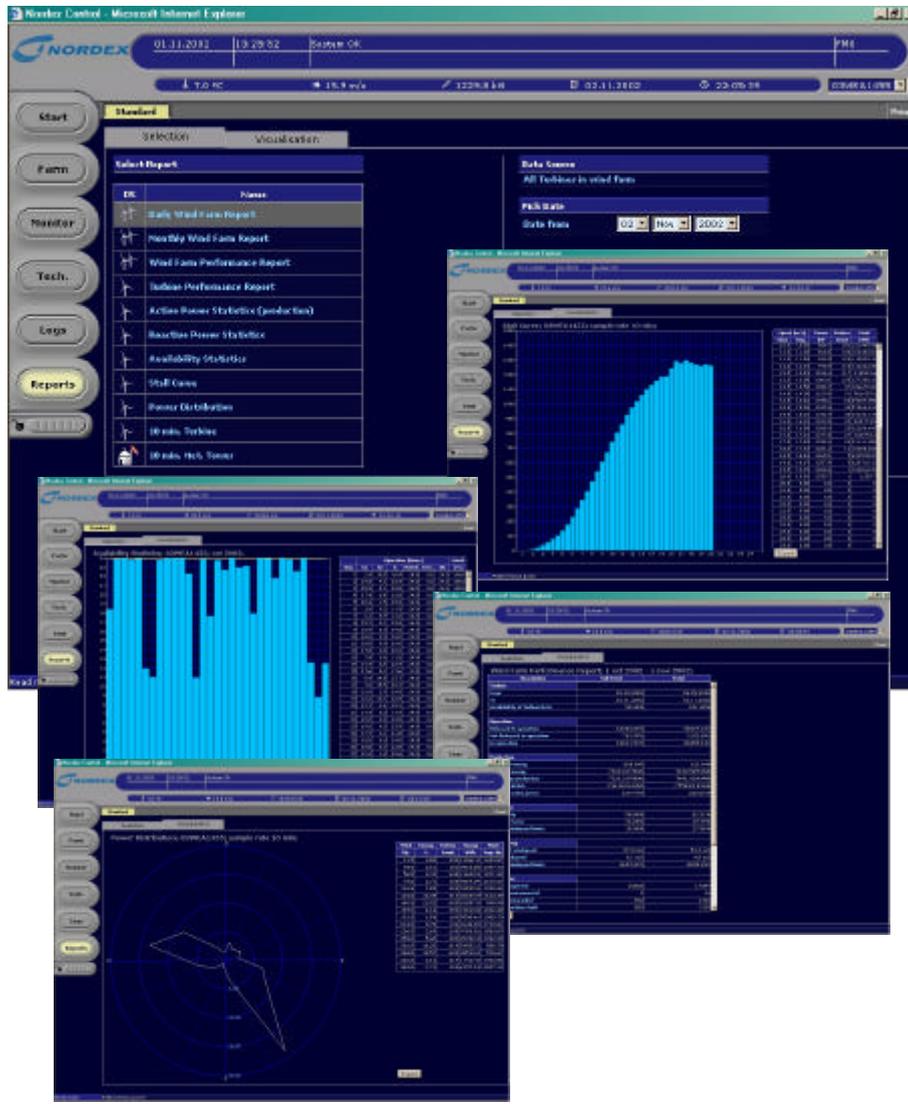
- ▶ Feste Abtastrate von 40 msec
- ▶ Einstellbare Triggerbedingungen
- ▶ Alle Analogwerte darstellbar
- ▶ Alle Binärwerte darstellbar



### 10 Minutenwerte (Trends)

- ▶ Alle Werte der letzten 24 Stunden
- ▶ Mittelwertbildung
- ▶ Standardabweichung
- ▶ Min Werte
- ▶ Max Werte

# WEA-B&B mit Web-Service - Ergebnisse Reporting



- Tagesreport WEA
- Monatsreport WEA
- WEA Performance Report
- Wirkleistungs-Statistiken
- Blindleistungs-Statistiken
- Leistungskurve
- 10 Minuten-Werte WEA



## Ergebnisse (1)

- Moderne Prozesssteuerungen und Systeme lassen sich für weltweiten Service mittels Web-basierter Applikation aufbauen und ertüchtigen
- **Dabei lassen sich folgende Anforderungen umsetzen**
  - ▶ Aufruf mittels Standard-Internetbrowser → **Easy-to-connect**
  - ▶ Einheitliches grafisches Benutzer-Interface → **Easy-to-use**
  - ▶ Monitoring aller wichtigen Daten und Zustände einer WEA und eines Windparks → **Easy-to-control**
  - ▶ Alarm und Event Report History → **Easy-to-watch**
  - ▶ Datenspeicherung für 21 Jahre (eff. Nutzungsdauer einer WEA liegt bei ca. 20 Jahren) → **Easy-to-export**
  - ▶ Keine Spezialsoftware und kein Softwaresupport für die Service- und Zugriffsrechner → **Easy-to-install**
- Der eingeschlagene Weg konnte als richtig und umsetzbar nachgewiesen werden
- **Optimierungspotential ist noch vorhanden**
  - ▶ Steuerungsprogrammierung (noch bessere Nutzung IEC61131 und Nutzung effektiverer HLL C/C++ für hochperformante Anwendungen)
  - ▶ Arbeiten zur Portierbarkeit, um auf verschiedene Hardwarestrukturen aufsetzen zu könne