

Abb. 3.6	Objektdiagramm des Beispielnetzes auf Basis von CIM-Objekten	80
Abb. 3.7	Objektdiagramm des Beispielnetzes auf Basis von CIM-Objekten	80
Abb. 3.8	Integrationsarchitektur der openKonsequenz-Plattform	84
Abb. 3.9	Bildschirmfoto des Werkzeugs CIMSpy. Bildquelle: https://www.powerinfo.us/CIMSpy.html	84
Abb. 3.10	Klassen für die Abbildung des geografischen Orts in CIM	87
Abb. 3.11	Darstellung eines Verteilnetzes in Kombination mit geografischen Daten in CIMSpace	88
Abb. 3.12	Unterschied zwischen kartesischem und sphärischem Koordinatensystem. Bildquelle: Paul Ramsey und Mark Leslie. http://postgis.net/workshops/postgisintro/geography.html , https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode	89
Abb. 3.13	Darstellung eines einzelnen Punktes in einer Karte von pgAdmin	90
Abb. 3.14	Darstellung eines Polygons in pgAdmin	92
Abb. 3.15	Die Standorte einiger regenerativer Energieanlagen als Abfrageergebnis von PostGIS	94
Abb. 3.16	Darstellung von regenerativen Energieanlagen in einer Kartenansicht von QGIS	95
Abb. 3.17	Darstellung von Windkraftanlagen in QGIS. Die Größe der Kreise wird in Abhängigkeit der Nennleistung variiert	96
Abb. 3.18	Typhierarchie einer äquidistanten Zeitreihe im CIM-Basismodell	98
Abb. 3.19	Zusammenhang zwischen den Klassen MarketDocument, TimeSeries und Point im IEC 62325	99
Abb. 3.20	Der Verlauf der höchsten und niedrigsten Tagestemperaturen in Düsseldorf als Ergebnis einer Abfrage aus einem Python-Script	100
Abb. 3.21	Nutzung verschiedener Datenbanksysteme für die Verwaltung von Zeitreihendaten	101
Abb. 3.22	Anwendung von Graphite Functions auf eine Metrik	103
Abb. 3.23	Temperaturen für Düsseldorf als Liniendiagramm in Grafana	105
Abb. 3.24	Informationsmodell des Marktstammdatenregisters. Bildquelle: Dokumentation des MaStr unter https://www.marktstammdatenregister.de	107
Abb. 3.25	Eine Kartendarstellung der Daten von OpenStreetMap im Browser	110
Abb. 3.26	Das Ergebnis der Abfrage aller Elemente mit dem Power-Tag in Hamm mithilfe der Overpass API	112
Abb. 4.1	Einflussfaktoren auf die Strompreisfindung	120
Abb. 4.2	Beispiel einer Zeitreihe, die auf mehreren Zeitreihenkomponenten basiert	124
Abb. 4.3	Glättung einer Zeitreihe mithilfe des gleitenden Mittelwerts	125
Abb. 4.4	Resultat der Dekomposition einer Zeitreihe in die einzelnen Komponenten	126

Abb. 4.5	Exponentielles Glätten erster Ordnung.....	128
Abb. 4.6	Exponentielles Glätten zweiter Ordnung.....	130
Abb. 4.7	Exponentielles Glätten dritter Ordnung	131
Abb. 4.8	Das Prognoseblatt von Excel, mit dessen Hilfe Prognosen auf Basis exponentieller Glättung dritter Ordnung durchgeführt werden können	132
Abb. 4.9	Grafische Darstellung des zulässigen Bereichs für die Optimierung des Kraftwerkseinsatzes.....	136
Abb. 4.10	Ergebnis eines Optimierungslaufs mit Pyomo und dem Solver glpk	139
Abb. 4.11	Das Koepchenwerk in Herdecke.....	140
Abb. 4.12	Die beispielhafte HPFC als Eingangsdaten für die Bewirtschaftung eines Pumpspeicherkraftwerks	141
Abb. 4.13	Das Ergebnis der Optimierung der Bewirtschaftung des Pumpspeichers	144
Abb. 5.1	Die Höchstspannungsschaltanlage der Firma Amprion GmbH in Hattingen	154
Abb. 5.2	Kommunikationsarchitektur in und mit Schaltanlagen.....	156
Abb. 5.3	Hierarchischer Aufbau der Standardfamilie IEC 60870-5	158
Abb. 5.4	Das ASDU-Format von IEC 60870-5	159
Abb. 5.5	Elementares Klassenmodell des Abstract Communication Service Interface des IEC 61850	163
Abb. 5.6	Interner, logischer Aufbau eines Leistungsschalters nach IEC 61850 und der Zusammenhang mit der Sekundärtechnik. In Anlehnung an [2].....	164
Abb. 5.7	Abbildung des Datenmodells und der Zugriffsdienste auf Kommunikationsprotokolle in IEC 61850	165
Abb. 5.8	Gebäuderelevanter Endenergieverbrauch für Raumwärme, Raumkühlung, Warmwasser und Beleuchtung. Bildquelle: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/indikator-energieverbrauch-fuer-gebäude	167
Abb. 5.9	Kommunikationsstandards auf den Ebenen der Gebäudeautomation. In Anlehnung an [23].....	169
Abb. 5.10	Versuchsaufbau mit KNX und BACnet im Gebäudeautomationslabor an der Hochschule Hamm-Lippstadt	170
Abb. 5.11	KNX und die sieben Schichten des ISO/OSI-Modells	170
Abb. 5.12	Aufbau eines Datentelegramms in KNX	171
Abb. 5.13	Ausschnitt aus dem KNX Interworking Model in Form eines Klassendiagramms der UML	173
Abb. 5.14	Bildschirmfoto der ETS-Software. Copyright durch KNX Association.....	174
Abb. 5.15	LonWorks und das ISO/OSI-Modell	176

Abb. 5.16	BacNet-Versuchsstand zur Simulation einer Heizungsanlage im Gebäudeautomationslabor der Hochschule Hamm-Lippstadt.....	180
Abb. 5.17	Die vier Schichten des BACnet-Kommunikationsstapels	181
Abb. 5.18	Ausschnitt aus dem BACnet-Informationsmodell als Klassendiagramm der UML	183
Abb. 5.19	Ausschnitt aus dem UML-Klassendiagramm des OPC-UA-Informationsmodells	189
Abb. 5.20	Beispielhafte Adressräume von zwei OPC-UA-Servern mit Knoten und Beziehungen	189
Abb. 5.21	Beispiel für ein Beziehungsgeflecht zwischen Objekten, Objekttypen, Variablen und Variablentypen in OPC UA. In Anlehnung an [42, S. 10]	190
Abb. 5.22	Kommunikationsvorgaben des BSI zum LMN eines SMG. Bildquelle: [21, S. 51].....	198
Abb. 5.23	Aufbau eines M-Bus-Telegramms.....	198
Abb. 5.24	Aufbau eines Physical Device nach COSEM	199
Abb. 5.25	Kommunikationsvorgaben für das WAN eines SMG. Bildquelle: [21, S. 31].	201
Abb. 5.26	Ablauf des Anwendungsfalls Lieferbeginn aus dem GPKE. Bildquelle: Bundesnetzagentur (BNetzA): Anlage zum Beschluss BK6-06-009, S. 33	204
Abb. 5.27	Informationsmodell eines ESS-Fahrplans als Klassendiagramm der UML	210
Abb. 5.28	Bildschirmfoto von ComCT	211
Abb. 6.1	Die vier Phasen des Deming-Kreislaufs	229
Abb. 6.2	Die Struktur des IEC 62351 und die Zuordnung der Abschnitte zu verwandten Standards.....	231

Die digitale Datenverarbeitung ist aus dem Lebensalltag der Unternehmen heute nicht mehr wegzudenken. Kaum ein Unternehmen kommt mehr ohne entsprechende Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) aus. Auch die Energiewirtschaft mit ihrer Aufgabe der sicheren, kostengünstigen und ökologisch nachhaltigen Versorgung mit Energie nutzt an vielen Stellen moderne IKT.

In allen Bereichen der Energiewirtschaft finden sich Anwendungsfälle für IKT. Im Kontext der physikalisch-technischen Energieflüsse werden die Aufgaben der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik umgesetzt. Dabei werden Zustandsdaten von Netzen und Erzeugungsanlagen in sog. SCADA-Systemen erfasst, verarbeitet und visualisiert. Kraftwerke und Netze werden in Echtzeit gesteuert und geregelt, der Einsatz von Betriebsmitteln wird mithilfe von Optimierungssystemen geplant. Mit der kaufmännischen Abwicklung der Energieversorgung finden sich weitere Ansatzpunkte für eine moderne IKT. Energieprodukte werden auf elektronischen Märkten gehandelt, dazu werden massenhaft Marktdaten verarbeitet, Preise prognostiziert und das Risiko von Handelsportfolios wird bewertet.

Der Einsatz von Methoden der Datenverarbeitung und der digitalen Kommunikation in der Energiewirtschaft mündet in der Disziplin der **Energieinformatik**. Die Energieinformatik beschäftigt sich dabei unter anderem mit der effizienten Nutzung von IKT, um ein sicheres, kostengünstiges und ökologisch nachhaltiges Energiesystem zu schaffen (siehe [3, S. 3 f.]). Die Wikipedia definiert die Energieinformatik dabei als eine Wissenschaft, bei der die Methoden der Informatik und angrenzender Gebiete wie der Elektrotechnik, Kybernetik, der Automatisierung und der Wirtschaftswissenschaft genutzt werden, um Fragen komplexer Energiesysteme zu erforschen und zu lösen (siehe [6]). Die Energieinformatik ist dabei eine angewandte Informatik, sie wendet Techniken und Methoden auf eine bestimmte Problem domain, nämlich die Problem domain der Energiewirtschaft,

an. Sie spielt sowohl im technisch-physikalischen sowie im kaufmännischen Bereich der Energiewirtschaft eine bedeutende Rolle (siehe Abschn. 2.1).

Neben den klassischen Anwendungsfällen entstehen aktuell ganz neue Bereiche für die Energieinformatik. Die Energiewende und die fortschreitende Digitalisierung sorgen hier für ganz neue Herausforderungen. In der Energiewende sind viele Konzepte nicht ohne die Energieinformatik umzusetzen. Durch intelligente Steuerung der Lastflüsse soll z. B. der Energiebedarf bereits auf regionaler Ebene gedeckt werden (*Microgrids*). Die intelligente Lastverschiebung kann den Netzausbau reduzieren (*Demand Side Management*). Auf Basis von Echtzeitdaten und Prognosen soll das sich selbst regulierende Netz entstehen (*Smart Grid*) und unterschiedliche Erzeugungseinheiten werden mit der Hilfe intelligenter Steuerungen zu virtuellen Kraftwerken zusammengefasst. Die Digitalisierung stellt dazu ganz neue Mittel bereit. Virtualisierung und cloudbasierte Systeme erzeugen auch im Kontext der Energiewirtschaft neue Flexibilität. Die Methoden von Big Data sorgen für bessere Prognosen und Entscheidungen. Technologien rund um das Internet der Dinge unterstützen die Realisierung von Konzepten, wie z. B. Smart- oder Microgrids. Das Konzept der *Blockchain* kann für Transparenz und Kostenreduktion bei der Abwicklung des Energiehandels sorgen.

Die Energieinformatik hat sich längst als eigenständiger Zweig in Wissenschaft und Lehre etabliert. In der Gesellschaft für Informatik (GI) existiert z. B. eine entsprechende Fachgruppe. Auch eine Reihe von Forschungseinrichtungen und Lehrstühlen setzen sich in Deutschland (und im Rest der Welt) intensiv mit Fragen der Energieinformatik auseinander. In Deutschland ist hier sicher das Forschungs- und Entwicklungsinstitut OFFIS in Oldenburg zu nennen. Auch werden an mehreren Hochschulen entsprechende Bachelorstudiengänge angeboten, z. B. an der Hochschule Ruhr-West oder der Fachhochschule Aachen. An der FH-Oberösterreich existiert auch ein entsprechender Masterstudiengang. Darüber hinaus findet sich die Energieinformatik oft als Vertiefungs- oder Wahlbereich in Informatik- oder Ingenieursstudiengängen, so z. B. an der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg bzw. an der Hochschule Hamm-Lippstadt (siehe [7] und [8]).

Wissenschaftliche Forschung manifestiert sich bekanntlich in entsprechenden Publikationen. Im Kontext der Energieinformatik existieren hierzu diverse Fachkonferenzen und -zeitschriften, die sich mit dem Thema befassen. Im deutschsprachigen Raum ist hier sicher die Konferenz Energieinformatik zu nennen. Sie findet jährlich statt und wird vom OFFIS-Institut aus Oldenburg organisiert. Darüber hinaus existieren viele weitere internationale Konferenzen, z. B.:

- ACM SIGCOMM E-Energy Conference,
- International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE),
- International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm),
- International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo).