

Energiemonitoring in der Gebäudetechnik

Lars Binternagel

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. B. Wolf

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. habil. F. Schneider, i.R.

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

Die Dissertation wurde am 05.11.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 14.04.2003 angenommen.

Energiemonitoring in der Gebäudetechnik

Dipl.-Ing. Lars Binternagel

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein System zum Energiemonitoring vorgestellt, das zur Erfassung, Übermittlung und Darstellung von Energie- und Ressourcenverbräuchen dient, um eine Rückkopplung des Energieverbrauchs, vor allem auf den Nutzer selbst, zu ermöglichen. Zur Verwirklichung dieses Zieles werden verschiedene Lösungsansätze untersucht, die sich in ihrer Systemstruktur unterscheiden. Die Unterschiede der einzelnen Strukturen bezüglich ihrer Verfügbarkeit und ihrer praktischen Umsetzbarkeit werden dabei ebenso dargestellt, wie ihre Vor- und Nachteile. Abgesehen von den theoretischen Überlegungen zum Energiemonitoring wurde für jeden der untersuchten Ansätze eine Realisierung in Form von funktionsfähigen Demonstrationsgeräten und Softwareprogrammen entwickelt und deren Einsetzbarkeit im produktiven Betrieb, also beim Nutzer selbst, abgeschätzt.

Abstract

In this thesis, a system for monitoring energy and resource consumption is presented which includes the measurement and the data transmission and finally the visualization. The visualization enables the consumer to get a direct feedback of his energy consumption. Different solutions are compared by their advantages and disadvantages regarding availability and their capabilities of practical realization. Besides the theoretical considerations for energy monitoring systems, implementations of three structures in hardware and software have been realized. Prototypes of visualization units, data concentrators, server systems, including the necessary software modules, have been built for demonstration and evaluation purposes.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Zielsetzung	6
1.1	Einführung	6
1.2	Zielsetzung	8
2	Stand der Wissenschaft und Technik	10
2.1	Energiearten und Einsatz im Gebäude	10
2.2	Energiemonitoring	12
2.3	Sensorik	15
2.3.1	Wasserzähler	15
2.3.2	Gaszähler	18
2.3.3	Elektrizitätszähler	20
2.3.4	Wärmezähler und Heizkostenverteiler	22
2.4	Messeinrichtungen und Regelungen	27
2.5	Gebäudesystemtechnik	29
2.6	Abrechnungsmöglichkeiten	30
2.6.1	Direkte Verbrauchswerte	30
2.6.2	Verteilte Verbrauchswerte	31
3	Anforderungen	33
3.1	Ziele der Anwendung	34
3.2	Anwendungsfälle	35
3.3	Aufteilung in Komponenten	35
3.3.1	Messung und Datenerfassung	36
3.3.2	Datentransport	38
3.3.3	Verarbeitung der Rohdaten	43
3.3.4	Zentrale Datenhaltung	43
3.3.5	Visualisierung	46
3.4	Zusammenfassung	48

4	Systementwurf	49
4.1	Gesamtsystem	49
4.1.1	Strukturelle Auswahl	50
4.1.2	Systemverfügbarkeit	55
4.2	Anwendungsmodule Hardware	61
4.2.1	Sensorik für Heizenergie	61
4.2.2	Anbindung von Standardzählern	64
4.2.3	Grafische Visualisierungseinheit	66
4.2.4	Textbasierte Visualisierungseinheit	70
4.2.5	Datenkonzentrator	73
4.2.6	Zentraler Datenserver	74
4.3	Anwendungsmodule Software	76
4.3.1	Visualisierungssoftware für Mikrocontroller	76
4.3.2	Visualisierungssoftware für embedded Systeme	84
4.3.3	Visualisierung via Internet	88
4.3.4	Allgemeiner Ansatz zur Serversoftware	95
4.3.5	Liegenschaftszentrale Realisierung der Serversoftware	96
4.3.6	Portable Realisierung der Serversoftware	97
4.3.7	Schnittstellen der Softwaremodule	104
4.4	Fehlerbetrachtungen	105
4.4.1	Komponentenfehler	105
4.4.2	Übertragungsfehler	105
4.4.3	Systematische Fehler	107
4.5	Energieverbrauch des Systems	109
4.6	Zusammenfassung	112
5	Bewertung	114
5.1	Grafische Benutzeroberfläche, GUI	114
5.2	Aspekte der Bedienbarkeit	115
5.3	Konfiguration der Einzelkomponenten	116
5.4	Möglichkeiten des Gesamtsystems	119
5.5	Einsatzbereich der Strukturen	120
6	Feldstudien und Labormodell	121
6.1	Feldstudien	121
6.2	Labormodell	122
7	Systemerweiterungen	128
7.1	Heimautomatisierungssysteme	128
7.2	Einzelraumregelung	129
7.3	Klimakorrektur	131

<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	5
8 Zusammenfassung und Ausblick	133
A Zusätzliche Abbildungen	136

Kapitel 1

Einführung und Zielsetzung

1.1 Einführung

Im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts wurden elektromechanische Apparate und schließlich elektronische Geräte zur Selbstverständlichkeit in der Haustechnik. Die Installation eines Hauses wurde vereinfacht durch Standardisierungen auf der elektrischen, wie auch auf der baulichen Seite. In den letzten Jahrzehnten wuchs der Bedarf an elektronischen Kommunikationsmöglichkeiten wie Telefon, Fax, Mobilfunk und Internet sehr stark an. Die Folge war der Einzug der Kommunikationstechnik in das Haus. Aber nicht nur die Technologie im Haus wurde immer ausgeklügelter, sondern auch die Installationstechnik entwickelte sich im Hinblick auf Vernetzung von Komponenten weiter. Der Begriff der Gebäudesystemtechnik wurde geprägt und dominiert seit einigen Jahren immer mehr Veranstaltungen und Messen im Bereich Bauwesen und Architektur. Zur Gebäudesystemtechnik gehören Systeme zur Gebäudeautomatisierung wie LON oder EIB. Diese Datenbussysteme sind heute bereits in Zweckbauten Standard und schicken sich an, auch in den Sektor des privaten Heimes vorzudringen. Die Zielsetzungen auf dem Gebiet der Heimautomatisierung gehen dabei in Richtung Erhöhung des Komforts für den Bewohner, Schaffung von Sicherheit der privaten Liegenschaft und nicht zuletzt Einsparung von Ressourcen. Letzteres ist jedoch nicht nur durch Bustechnologie allein zu erreichen. Moderne Gebäude zeichnen sich zudem durch sehr ressourcenschonende, wirtschaftlich arbeitende Heizungs- und Brauchwasserbereitungssysteme aus.

Zur Abrechnung der verbrauchten Energien in Gewerken mit mehreren Wohn- bzw. Nutzeinheiten wird üblicherweise eine Erfassung bzw. Verteilung der Verbräuche durchgeführt. Je nach genutzter Energieart geschieht dies auf unterschiedliche Weise mit jeweils unterschiedlicher Sensorik. Diese wird

bisher lediglich zur meist jährlichen Abrechnung der Verbräuche verwendet. Bei entsprechender zeitlicher Auflösung können die anfallenden Daten jedoch ebenso für die zeitnahe Darstellung der Verbräuche dienen. Das „Energiemonitoring“ an sich bedeutet somit die zeitnahe Visualisierung von Energieverbräuchen. Dabei soll die Veranschaulichung des Energieverbrauchs nicht nur dem Energielieferanten dienen, der statistische Auswertungen dieser Art meist schon in seinen softwareseitigen Abrechnungswerkzeugen integriert hat, sondern sie ist auch ein hervorragendes Mittel, um dem Endkunden und somit dem Bewohner einer Wohnung seinen eigenen Energieverbrauch vor Augen zu führen. Die wenig verständlichen und für einen Laien kaum nachvollziehbaren Energieabrechnungen, die oft eine Nachzahlung an den Energieversorger bedeuten, sind durch eine Monitoring-Einrichtung derart ergänzbar, dass der Nutzer nicht nur seinen kumulierten Verbrauch erfährt, sondern auch der Ort des Aufwands und die Zeitnähe gegeben ist. Konkret bedeutet dies, dass der Bewohner mit einem solchen System innerhalb weniger Stunden erkennen kann, in welchem Raum er zu viel Heizenergie verbraucht hat. Um ein System zum Energiemonitoring grundsätzlich zu untersuchen, nahm der Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik der Technischen Universität München an einem Verbundprojekt der Bayerischen Forschungsförderung teil, dem Projekt ISOTEG (Innovative Systeme und Optimierte Techniken zur Energetischen Gebäudesanierung). Dieses Verbundprojekt mit über sechzig Partnern aus Industrie und Forschung beschäftigte sich mit Klimaschutz und Ressourcenschonung durch neuartige bauliche Sanierungs- und Dämmungsmaßnahmen sowie Energieeinsparung und Verwendung regenerativer Energiequellen. Diese Aspekte werden von dem bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) als zentrale Zielgrößen der energetischen Gebäudesanierung angesehen, da – wie in [BDF01, S. 1] angegeben – etwa 43 Prozent des Endenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland in den Sektoren „Haushalt und Kleinverbraucher“ auf Raumheizwärme, Warmwasserbereitung und Beleuchtung entfallen. Durch eine verbesserte Kontrolle des Verbrauchs durch den Nutzer können zukünftig enorme Einsparungspotenziale in diesen Bereichen ausgeschöpft werden.

Die transparente Verbrauchskontrolle durch Visualisierung des Heizenergieverbrauchs dient dabei nicht nur der besseren Überwachung und Analyse des Heizverhaltens des Nutzers, sondern auch der rechtzeitigen Erkennung von Defekten und Störungen des Heizsystems. Die Optimierung des Energieverbrauchs wird bei diesem Ansatz nicht durch ein vollautomatisches Regulationssystem erreicht, wodurch oft Komfortverluste beim Nutzer eintreten, sondern wird vom Bewohner selbst gesteuert. Wichtig ist dabei, ein Bewusstsein für den Energieverbrauch zu schaffen.

Im Projekt ISOTEG wurde lediglich die Heizenergie betrachtet. Die entstan-

denen Systeme sind jedoch durch ihre Universalität auch für andere Energiearten anwendbar. Die Brücke zu anderen Energiearten wurde durch das Projekt „IWO-BAY“ („Innovatives Wohnen in Bayern“) geschlagen, das ebenfalls von der Bayerischen Forschungsstiftung gefördert wurde. Hier wurde ein Gerät zur Erfassung, Zwischenspeicherung und Fernübertragung von beliebigen Zählerwerten (Gas, Wasser, Strom,...) prototypenhaft entwickelt.

1.2 Zielsetzung

Durch den Einsatz elektronischer Sensorsysteme zur Energieerfassung ergeben sich neuartige Methoden und Wege zur Messwertübertragung und -verarbeitung. Ziel dieser Arbeit ist es, dem Nutzer eines Gebäudes Informationen bzw. eine Rückkopplung über seine aufgewendete Energie sowie die Zeit und den Ort des Verbrauchs zu geben. Dazu ist eine zeitnahe Erfassung, gesicherte Übertragung, intelligente Auswertung bzw. Verarbeitung und schließlich eine übersichtliche, ergonomische Darstellung des Energieverbrauchs notwendig. Um dieses Ziel zu erreichen, muss das Gesamtsystem untersucht und zum mindesten teilweise realisiert werden. Hierzu bedarf es grundsätzlicher Untersuchungen zu folgenden Punkten:

- Struktur des Gesamtsystems
- Anforderungen an die Sensorik, z.B. erforderliche zeitliche Auflösung
- Datenübertragung
- Datensammlung und Algorithmen zur Datenkompression
- Ergonomische Datenanzeigen unterschiedlicher Leistungsfähigkeit
- Mögliche Auswertungsverfahren

Die jährlich erfolgende Abrechnung der genutzten Energie ist für ein Monitoring des Verbrauchs nicht geeignet, da der erfasste Zeitraum zu groß ist und so die erforderliche zeitliche Auflösung fehlt. Ein äußerst wichtiges Ziel ist folglich die Realisierung einer zeitnahen Messdatenerfassung, um dem Nutzer die Möglichkeit zu geben, ausgehend von den visualisierten Daten Rückschlüsse auf sein Verbrauchsverhalten zu ziehen.

Bei Verwendung herkömmlicher Verbrauchszähler ist sowohl eine Auslesung der Verbräuche, als auch eine Diagnose der Messwertaufnehmer aus der Entfernung nicht möglich. Es sind also neuartige elektronische Sensoren notwendig. Die von diesen Sensoren unterstützten Funktionen gehen dabei weit über

die bloße Messwerterfassung hinaus. Kommunikationsfunktionen und damit verbundene Algorithmen zur Sicherung der Datenintegrität sind erforderlich. Ebenfalls hier einzureihen sind die Datenverschlüsselungsverfahren unter Verwendung kryptografisch starker Algorithmen zur Verhinderung von Manipulation und Ausspähen der übertragenen Daten durch Dritte. Das Sammeln und Übertragen der Sensordaten erfordert einen hohen Aufwand an Elektronik und neuartiger Software, doch erhält man erst durch eine anschließende Nachverarbeitung aus den Rohdaten eine aussagekräftige Auswertung. Dazu werden Methoden und Algorithmen zur Klassifizierung und Verwaltung der Sensordaten erforscht. Durch ein bei Kleingeräten beschränktes Maß an zur Verfügung stehender Verarbeitungs- und Speicherkapazität müssen einerseits speicher- und zeitoptimale Algorithmen entwickelt werden und andererseits die bereits nachverarbeiteten Daten reduziert und komprimiert werden. Auch hierfür bedarf es neuartiger Lösungen, die prototypisch umgesetzt werden müssen.

Die Vernetzung der Sensoren, der Empfangs- und der Visualisierungseinheiten bietet zudem unter Einbeziehung des Service- bzw. Abrechnungsunternehmens neue Möglichkeiten für die Fernauslesung der Verbrauchsdaten. Ein äußerst interessanter Nebeneffekt ist dabei die Einsparung der Ablesungsdienstleistung. Die angestrebte Aktualität der beim Serviceprovider vorliegenden Verbrauchsdaten erlaubt Zusatzdienste wie beispielsweise monatliche Ablesungen ohne erhöhten personellen Aufwand. Die zusätzlich gewonnene Transparenz hinab bis auf die Ebene der einzelnen Messeinrichtungen sorgt zudem für eine einfache Fehlerdiagnose und kommt damit nicht nur dem Abrechnungsunternehmen, sondern auch dem Nutzer selbst zu Gute.

Bei vernetzten Systemen stellt sich jedoch sehr schnell die Frage nach der Konfiguration und Parametrierung der einzelnen Datenknoten. Hier muss die Idee eines Gesamtsystems verfolgt werden, mit dem es möglich wird, eine systemweite Konfiguration von einem zentralen Punkt aus durchzuführen und im Betrieb komplexe Zusammenhänge einfach zu visualisieren. Die Verwendung des TCP/IP-Protokolls als standardisierte Basis spielt dabei eine große Rolle. Das reibungslose, sichere Zusammenspiel der vernetzten Hardware-Komponenten, sowie eine intelligente, skalierbare Software, die auch komfortable Wartungs- und Konfigurationsfunktionen ermöglicht, sind die Hauptaspekte der Arbeit.

Kapitel 2

Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Energiearten und Einsatz im Gebäude

In privaten Häusern wie auch in Zweckbauten werden sehr unterschiedliche Energiearten genutzt. Diese unterscheiden sich in Form und Herkunft sowie in ihrer Erfass- und Zählbarkeit. Die in jedem modernen Gebäude unbedingt benötigten Energiearten bzw. Ressourcen sind zunächst Wasser und Strom. Meist wird aus wirtschaftlichen Gründen zur Heizung und Warmwasserbereitung noch eine zusätzliche primäre Energieressource genutzt, wie z.B. Gas, Öl, Kohle oder Holz. Solarenergie und Windkraft stellen zusätzliche Möglichkeiten dar, die Wärmegewinnung in einem Gebäude zu unterstützen, jedoch sind der Nutzung der Solarenergie (z.B. durch Solarthermie), insbesondere im nördlichen Teil Europas, klimabedingte Grenzen gesetzt, so dass diese in der Regel lediglich als unterstützende Energiequelle zum Einsatz kommen. Die Nutzung von Windkraft beschränkt sich ebenso auf wenige geographisch begünstigte Orte.

Die Wärmegewinnung in einem Haus kann auf zwei unterschiedliche Weisen, zentral oder dezentral, erfolgen. Bei beiden Systemen wird der Energieträger einem Wärmeerzeuger zugeführt, der dann ein Medium für den Wärmetransport erhitzt. Dieses Medium ist meist Wasser (Radiator-, Fußboden-, Wandheizung) oder Luft (Lüftungsheizung).

Beim zentralen System wird dabei ein Kesselsystem eingesetzt, über das meist auch die Warmwasserbereitung erfolgt. Dieser Ansatz benötigt für die Verteilung der Heizenergie und des Warmwassers zusätzliche, verlustbehaftete Leitungsinfrastruktur für beide Medien im Gebäude. Der Vorteil liegt wiederum in der zentralen Energieumsetzung, für die ein aufwändigeres und

effektiver arbeitendes System eingesetzt werden kann, das zudem durch seine geringe Komplexität besser steuer- und regelbar ist.

Der dezentrale Ansatz verteilt den Energieträger selbst im Gebäude, der nur am Ort des tatsächlichen Bedarfs umgesetzt wird. Auch hier ist zusätzliche Leitungsinfrastruktur notwendig, jedoch nicht in einem solch starken Maße wie bei einem zentralen System, da meist nur eine Hinführung der Ressource zum Verbrauchsort erfolgen muss. Der Vorteil einer einfacheren Leitungsinfrastruktur und der Vermeidung der damit verbundenen Leitungsverluste wird erkauft durch schlechtere Wirkungsgrade bei der Energieumsetzung und durch höhere Anschaffungskosten der einzelnen Umsetzungsstellen.

Bei Nutzung von Strom als Energieträger bieten sich Durchlauferhitzer oder Boiler zur Warmwasserbereitung an. Zur Raumheizung existieren verschiedenste Systeme, z.B. Radiatoren, Nachtspeichergeräte, Wandstrahlungsheizung, Fußbodenheizung, etc. Öl kommt mittlerweile fast ausschließlich in zentralen Anlagen zum Einsatz. Bei Öl ist ein zusätzlicher Lagerraum (Tankraum) notwendig, da keine direkte, leitungsgebundene Versorgung einzelner Liegenschaften mit dem Rohstoff existiert. Gas wird sowohl in zentralen als auch in dezentralen Anlagen eingesetzt. Der Rohstoff wird dabei entweder in einem Tank (außerhalb des Hauses) gelagert oder vor allem in Stadtgebieten direkt per Leitung ins Haus eingespeist. Gas wird sehr häufig in sogenannten Etagenheizungen eingesetzt, die einen Mittelweg zwischen dezentralem und zentralem System darstellen. Jede Wohneinheit einer Liegenschaft verfügt dabei über eine eigene Brennstelle mit Warmwasserbereitung. Diese Art der Heizung eignet sich gut zur Nachrüstung von Altbauten und arbeitet mit einem guten Wirkungsgrad. Zur Heizwärme- und Warmwasserbereitung wird in Stadtgebieten auch oft Fernwärme eingesetzt. Diese Wärme kommt in Form von Wasserdampf von großen Heizkraftwerken über ein spezielles Rohrleitungsnetz direkt ins Haus, wo eine Umsetzung auf die häusliche Infrastruktural erfolgt. Fernwärme kann als eine Erweiterung des hauszentralen Konzepts angesehen werden. Der Vorteil liegt hier in der platzsparenden Technik im Haus, der Nachteil in der nicht flächendeckenden Versorgung und der Abhängigkeit von einem Heizkraftwerk.

Neben der Heizung und der Warmwasserbereitung werden Energieressourcen (Strom und Wasser) für Beleuchtung, Haushalt (Kochen, Waschen, Trocknen, etc.) und Unterhaltung (Radio, Fernseher, Computer, etc.) benötigt. Im privaten Bereich wird die Ressource Wasser vor allem für die Körperpflege und Haushaltstätigkeiten benötigt. Die Nutzung von Regen- oder Grauwasser für Waschmaschine und Toilettenspülung wird in den letzten Jahren immer stärker propagiert. Jedoch ist dies oft nur bei Neubauten oder mit aufwändigen Nachrüstungen (Aufbereitung, Speicher, zusätzliches Leitungsnetz) zu verwirklichen.

Eine grundsätzliche Unterscheidung der Ressourcen kann auch nach Mess- bzw. Zählbarkeit erfolgen. Strom, Wasser, Gas, Öl und Fernwärme sind sehr gut zählbare Energieträger, während der Gewinn an Raumwärme, der z.B. durch solare Einstrahlung durch ein Wohnzimmerfenster entsteht, nur sehr schwierig und mit großem Messaufwand erfassbar ist.

2.2 Energiemonitoring

Energiemonitoring bedeutet die Darstellung von Energieverbräuchen durch technische Hilfsmittel. Die Abrechnung dieser Energieverbräuche wird von den Lieferanten oder von Service Providern (Abrechnungsunternehmen) durchgeführt, wobei der Nutzer eine Rechnung entsprechend seines Verbrauches erhält. Die Abrechnungen erfolgen jedoch meist nur jährlich, so dass keine Zeitnähe zum tatsächlichen Verbrauch der Energie gegeben ist. Eine positive Beeinflussung des Nutzerverhaltens durch zu hohen Verbrauch und eine daraus bedingte Nachzahlung entfällt. Hier setzen Systeme zum Energiemonitoring an.

Das „Monitoring“, also die Überwachung und Darstellung von Energieverbrauchsdaten, ist prinzipiell nicht neu, da bereits im Jahre 1979 ein Signalgerät getestet wurde, das dem Nutzer seinen Stromverbrauch anzeigen konnte und das Einsparungen von bis zu 12% ermöglichte [MC79]. Ebenso wurde in [Cle83] nachgewiesen, dass eine Rückkopplung über seinen Energieverbrauch den Nutzer motivieren kann, Energiesparen zu lernen. Trotzdem wurde eine solche Technologie bisher lediglich bei den Energieerzeugern, -verteilern und bei Großverbrauchern eingesetzt. Es ist derzeit auch keines dieser Systeme für den Einsatz im Wohnungsbau geeignet.

Es existieren nur wenige repräsentative Umfragen über das Nutzerverhalten im Bereich Raumkonditionierung. Die im Jahre 1979 veröffentlichte Studie [Kün79, S.261-292] bildet dabei lediglich eine statistische Grundlage. Darauf aufbauend wurde der große Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch bereits in mehreren Arbeiten ([Müg93a, S.68-75], [Sch00], [Cle83]) nachgewiesen, doch bislang keinerlei Ansatz zur Erkennung und Eindämmung von Energieverlusten durch beispielsweise falsches Lüftungsverhalten oder überhöhte Innenraumtemperatur [Müg93a, S.68] vorgestellt.

Es existiert wenig wissenschaftliche Literatur über Energiemonitoring, jedoch wurde in [Sta01] ein System untersucht, das auch eine Verbrauchsdarstellung ermöglicht. Das dabei entstandene „dialogfähige Energiemanagementsystem“ stellt allerdings kein reines Monitoringsystem, sondern eine Synthese aus Gebäudeautomatisierungs- und Energiemonitoringsystem dar. Die Anwendungsorientierung im Hinblick auf ein späteres Produkt ist dabei nicht

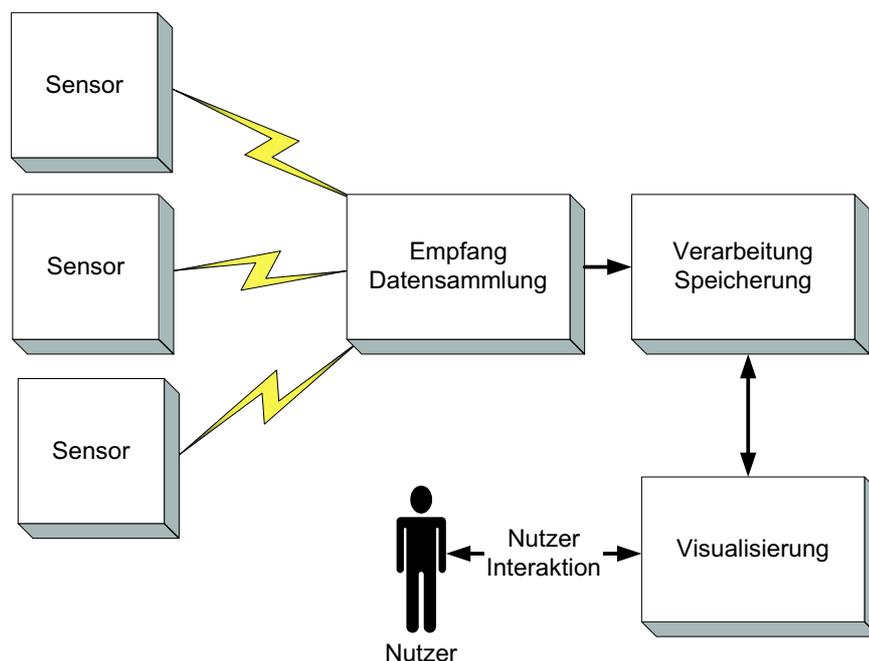


Abbildung 2.1: Prinzipielle Struktur eines Energiemonitoringsystems

gegeben. Zudem wird in [Sta01] vor allem die Energieeinsparung in Büro- und Verwaltungsgebäuden und nicht im privaten Bereich betrachtet. Eine Energiebilanz zwischen (möglicher) Einsparung und vom System selbst benötigter Energie fehlt zudem bei allen bislang betrachteten Systemen.

Die Konfiguration der Komponenten komplexer Energiemonitoringsysteme wurde bislang nicht zufriedenstellend gelöst, da keine zentrale Fernkonfiguration der entfernten Datensammler bzw. Netzkomponenten möglich ist und Parameter nur lokal gehalten werden, wie beispielsweise in [Sta01, S.49]. Auch wurden Betrachtungen über Konzepte zur Datensicherheit und zur Verschlüsselung personenbezogener Verbrauchsdaten, auch auf der Übertragungstrecke, bislang nicht durchgeführt. Solche Sicherheitsbetrachtungen sind jedoch notwendig, um das Ausspähen und Manipulieren von Verbrauchsdaten, die evtl. auch zu Abrechnungszwecken dienen, verhindern zu können. Aus technischer Sicht bestehen Energiemonitoringsysteme (Abbildung 2.1) zum einen aus Sensoren, die den Energieverbrauch erfassen, meist in Form von herkömmlichen Zählern, die mit elektronischer Auslesemöglichkeit versehen wurden, um die ermittelten Energieverbräuche übertragen zu können, zum anderen aus einer Art Datensammler, der die Sensordaten konzentriert und einer Einheit zur Verarbeitung und Speicherung zuführt. Eine weitere

logische Einheit ist die Visualisierung, die die erfassten und gespeicherten Daten darstellt und somit die Schnittstelle zum Nutzer repräsentiert. Bei dieser Darstellung können oft verschiedene zeitlich oder örtlich bezogene Auswertungen gewählt werden. Hier sollte eine übersichtliche und gut strukturierte Anzeige vorhanden sein, die selbst von Nutzern ohne Vorkenntnisse sofort verstanden und bedient werden kann.

Die meisten bereits erhältlichen Systeme (z.B. PT-Energiemanagement, [PE00]) bringen zudem einige Nachteile wie hohen Hardware- und Verkabelungsaufwand mit sich und sind so für den Einsatz im privaten Bereich praktisch nicht geeignet.

Da die Heizenergie den größten Anteil am Energieverbrauch eines privaten Haushalts hat, ist es sinnvoll, vor allem diese zu visualisieren und so dem Nutzer Einsparpotenziale aufzuzeigen. Zur Visualisierung von Heizwärmeverbräuchen sind besonders elektronische Heizkostenverteiler und Wärmehöher geeignet, jedoch bieten selbst die aufwändigsten Geräte lediglich ein LC-Display, auf dem ein Zählwert angezeigt wird, den der Nutzer ohne Vorkenntnisse nicht verstehen kann. Zudem ist ein solches System nicht besonders komfortabel, wenn man das z.B. tägliche Ablesen sämtlicher Energiezähler und das Ermitteln der Tagesverbräuche betrachtet. Für die elektronische



Abbildung 2.2: Techem „Assisto“, Proprietäres Heimautomatisierungssystem mit einfacher Verbrauchskontrolle, Quelle: Techem

Auslesung und Visualisierung des Heizwärmebedarfs existieren lediglich zwei Systeme neueren Datums auf dem Markt (Honeywell Hometronic, [Hon02] und Techem assisto, [Tec01] und Abbildung 2.2), die jedoch beide spezielle Hardware benötigen und nur minimale Auswertungen und Darstellungen der Verbrauchsdaten ermöglichen und somit nicht zur Rückkopplung des Verbrauchsverhaltens auf den Nutzer dienen können. Zudem ist es bislang nicht

möglich, Verbräuche anderer Ressourcen (Wasser, Strom, Gas) in die Systeme zu integrieren.

Zusammenfassend richten sich marktfähige Systeme zum Energiemonitoring vornehmlich an industrielle Abnehmer, Unternehmen und den Zweckbau. Die Geräte sind oft unflexibel was die Auswertung, Weiterverarbeitung und vor allem die Darstellung der Verbräuche angeht. Der zu betreibende Aufwand an Hardware und für die Schaffung entsprechender Infrastruktur zur Gewinnung und Konzentration der Verbrauchswerte ist hoch, jedoch für Großverbraucher und industrielle Unternehmen durchaus lohnend, wogegen im privaten Bereich bislang kein Energiemonitoringsystem verfügbar ist, das die oben angeführten Anforderungen erfüllt.

2.3 Sensorik

Die von außen einem Gebäude zugelieferten Energiemengen müssen erfasst werden, um eine spätere Abrechnung zu ermöglichen. Dazu ist entsprechende Sensorik notwendig. Je nach erfasstem Energieträger ist die Ausführung bzw. das Messprinzip der Sensorik unterschiedlich. Nachfolgend wird für die Medien Wasser, Gas, Strom und Wärme der Stand der Technik für die entsprechenden Sensoren bzw. Zähler zusammen mit den jeweiligen Messprinzipien aufgeführt. Dabei werden lediglich Messprinzipien erläutert, die auch in Zählern zum Einsatz kommen. So wird beispielsweise die Massendurchflussmessung mittels Corioliskräften nicht berücksichtigt, da diese lediglich in der industriellen Anlagentechnik und nicht zur Verbrauchszählung von Gas oder Wasser eingesetzt wird.

2.3.1 Wasserzähler

Bei Wasserzählern werden die im folgenden beschriebenen drei Verfahren in handelsüblichen Geräten eingesetzt.

Induktive Erfassung

Die magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID, Abbildung 2.3) basiert auf dem Faraday'schen Induktionsgesetz (Gleichung 2.1): Wird ein elektrischer Leiter durch ein Magnetfeld bewegt, so wird im Leiter durch die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses $\frac{\partial \Phi}{\partial t}$ eine elektrische Spannung induziert. Bei der Durchflussmessung ersetzt elektrisch leitfähige Flüssigkeit den bewegten Leiter. Die Ionen der Ladung q bewegen sich mit der Strömungsgeschwindigkeit \vec{v} durch ein senkrecht zur Bewegungsrichtung angeordnetes

Magnetfeld \vec{B} . Auf die Ionen wirkt nach Gleichung 2.2 die Lorentzkraft. Die Ionen erfahren so in ihrer Bewegung eine Ablenkung zur Seite, wodurch ein elektrisches Feld \vec{E} entsteht, das wiederum die Kraft \vec{F}_E auf die Ionen ausübt (Gleichung 2.3). Im Gleichgewichtszustand ist $\vec{F}_{Lorentz} = \vec{F}_E$.

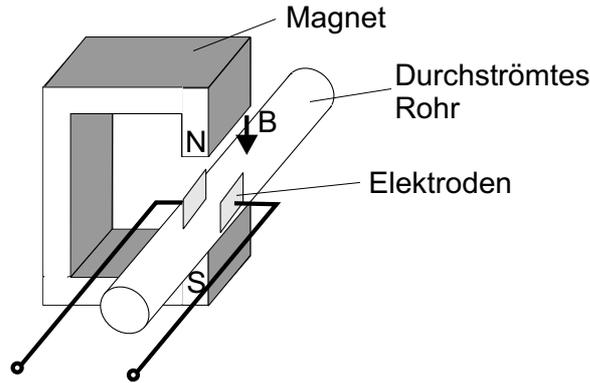


Abbildung 2.3: Prinzipdarstellung eines induktiven Durchflussmessers

$$U_{ind} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\vec{F}_{Lorentz} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (2.2)$$

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E} \quad (2.3)$$

Die Feldstärke \vec{E} führt an den diametral an der Rohrwand angeordneten Elektroden zu einer Spannung U . Mit D als Rohrdurchmesser und bei Annahme eines senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkenden, homogenen Magnetfeldes, ergibt sich mit Gleichung 2.4 die abgegriffene Spannung U als Maß für die Strömungsgeschwindigkeit und somit laut [Sch95, S. 169, 170] auch für den proportional verknüpften Volumendurchfluss (Gleichung 2.5).

$$q \cdot v \cdot B = q \cdot E = q \cdot \frac{U}{D} \quad (2.4)$$

$$\Rightarrow U = D \cdot v \cdot B$$

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot v \\ \Rightarrow \dot{V} &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D}{B} \cdot U\end{aligned}\tag{2.5}$$

Ein den Elektroden nachgeschalteter Messverstärker bzw. Messwertumformer dient der Verstärkung und Abtrennung des Nutzsignals von Störsignalen. Diese Messmethode hat den Vorteil, dass sie relativ genau arbeitet, auch für stark verschmutzte Flüssigkeiten einsetzbar ist und keiner baulichen Maßnahmen am Rohr bedarf.

Magnetisch-induktive Durchflussmesser werden im privaten Bereich nicht angewandt, da der technische Aufwand hoch ist und der Vorteil der Messmöglichkeit von verunreinigtem Wasser nicht zum Tragen kommt, da lediglich Frischwasser gezählt wird. Im Heimbereich gibt es deshalb keine entsprechenden Produkte mit magnetisch-induktivem Messverfahren.

Ultraschallmessung

Bei der Ultraschall-Durchflussmessung wird die Durchflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit bzw. eines Gases über den Laufzeitunterschied zweier Ultraschallsignale gemessen (Abbildung 2.4). Die Laufzeit t_1 des Schalls von Sender 1 (S1) zum Empfänger 2 (E2) ist aufgrund des Volumenstroms kürzer als die Laufzeit t_2 von Sender 2 (S2) zum Empfänger 1 (E1). Dabei gibt laut [Sch95,

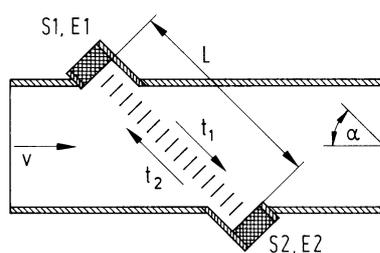


Abbildung 2.4: Messprinzip eines Ultraschall-Durchflussmessers

S. 456, 457] Gleichung 2.6 die Beziehung zwischen der Laufzeitdifferenz der Schallsignale und der mittleren Strömungsgeschwindigkeit v des Mediums an, mit α als Winkel zwischen dem Ultraschallpfad und der Strömungsrichtung

des Mediums. Der Volumendurchfluss \dot{V} ergibt sich analog zu den Überlegungen bei der induktiven Erfassung, wobei D den Durchmesser des Messrohres bezeichnet (Gleichung 2.7).

$$v = \frac{(t_1 - t_2)}{t_1 \cdot t_2} \cdot \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \quad (2.6)$$

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot v \quad (2.7)$$

Die Ultraschallmessung ist im Heimbereich für Wasserzähler nicht verbreitet, da ähnlich wie beim magnetisch-induktiven Verfahren der im Vergleich zum mechanischen Wasserzähler am Markt erzielbare Preis den höheren technischen Aufwand nicht rechtfertigt.

Mechanische Messung

Der im privaten und gewerblichen Bereich fast ausschließlich verbreitete Wasserzähler basiert auf einem mechanischen Messprinzip. Diese Geräte sind auf dem Markt eingeführt, technologisch ausgereift und günstig. Mechanische Wasserzähler sind Durchflusszähler, bei denen der Wasserstrom durch ein Flügelrad gemessen wird. Der Wasserstrom trifft dabei entweder in einem (Einstrahlaxialprinzip) oder mehreren Strahlen axial auf das Flügelrad (Mehrstrahlaxialprinzip). Die Drehbewegung des Flügelrades wird über eine Magnetkopplung auf das Messwerk übertragen. Die Drehfrequenz f der Achse verhält sich dabei direkt proportional zum Durchfluss \dot{V} mit dem Proportionalitätsfaktor V_0 , der von der Geometrie der Flügelradeinheit abhängt und das durch den Zähler geströmte Volumen pro Achsumdrehung repräsentiert. Die Umdrehungen der Achse werden schließlich über ein auf Volumen (z.B. m^3) geeichtes Zählwerk aufsummiert.

$$\dot{V} = V_0 \cdot f \quad (2.8)$$

Es sind am Markt Zählerausführungen für Warm- und Kaltwasser (Abbildung 2.5) verfügbar. Wasserzähler verfügen über ein mechanisches oder elektronisches Zählwerk, wobei eine Schnittstelle zu externen Erfassungs- und Auswertesystemen meist durch einen Impulsausgang realisiert wird.

2.3.2 Gaszähler

Bei Gaszählern ist eine ähnliche Marktsituation wie bei Wasserzählern zu beobachten: Balgengaszähler nach mechanischem Messprinzip sind aufgrund



Abbildung 2.5: Mechanischer Wasserzähler mit installiertem Impulskontakt, Quelle: Zenner GmbH

der bereits installierten Anzahl und der ausgereiften und jahrzehntelang erprobten Technik Marktführer. Auf Grund der isolierenden Eigenschaften der meisten energietragenden Gase kann eine induktive Erfassung nicht angewandt werden und wird deshalb hier auch nicht aufgeführt. Die Messung des Durchflusses mittels eines Ultraschallverfahrens ist aber durchaus möglich. Es wurde in letzter Zeit auch ein Ultraschall-Durchflussmesser für den Verbrauchserfassungsbereich entwickelt, dessen Kosten jedoch höher als die der mechanischen Gaszähler liegen.

Ultraschallmessung

Die Ultraschallmessung des Gasdurchflusses arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie die Messung eines Flüssigkeitsdurchflusses (Kapitel 2.3.1). Die Durchflussgeschwindigkeit eines Gases durch das Messrohr wird, wie bei den Wasserzählern bereits beschrieben, über den Laufzeitunterschied zweier Ultraschallsignale ermittelt, die in Flussrichtung und gegen die Flussrichtung des Gases gesandt werden.

Mechanische Messung

Bei niedrigem bis mittlerem Gasverbrauch, der meist im privaten und kleinindustriellen Umfeld gegeben ist, finden Balgengaszähler Verwendung. Hier wird die verbrauchte Gasmenge über eine Volumenmessung ermittelt. Messkammern, die aus Kunststoffmembranen bestehen, werden periodisch gefüllt und entleert (Abbildung 2.6). Ein Gelenkgetriebe überträgt die Membranbewegungen auf eine Kurbelwelle. Die Drehbewegungen des Getriebes werden über eine Magnetkupplung auf das mechanische Zählwerk übertragen. Der in Abbildung 2.7 dargestellte Zähler verfügt zusätzlich zum Rollenzählwerk über einen Impulsausgang zur Ankopplung externer Erfassungsgeräte.

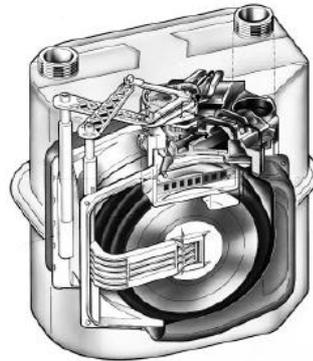


Abbildung 2.6: Aufbau eines Balgengaszählers, Quelle: Elster Amco

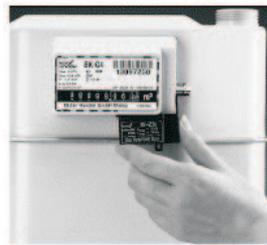


Abbildung 2.7: Balgengaszähler mit installiertem Impulsausgang, Quelle: Elster Amco

2.3.3 Elektrizitätszähler

Zur Messung und Erfassung der in Gleichung 2.9 angegebenen elektrischen Arbeit werden Elektrizitätszähler eingesetzt [Sch95, S. 99]. Der Großteil der weltweit installierten Geräte basiert auf dem Prinzip des Ferraris- bzw. Wandlerfeldzählers (Abbildung 2.8).

$$W = \int_0^T P_w dt = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot T \quad (2.9)$$

Dabei werden in einer Aluminiumscheibe Wirbelströme durch einen wechselstromdurchflossenen Elektromagnet (Spannungseisen, Spannung u_1 , Strom: i_1 , erzeugter Fluss: Φ_1) induziert. Ein zweiter Elektromagnet (Stromeisen, Spannung u_2 , Strom: i_2 , erzeugter Fluss: Φ_2), der vom verbrauchten Strom durchflossen wird, erzeugt einen Wechselfluss in der Scheibe, welcher zusam-

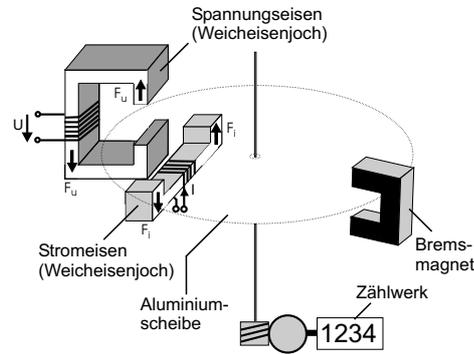


Abbildung 2.8: Aufbau eines Elektrizitätszählers nach dem Ferrarisprinzip

men mit den Wirbelströmen in einer Kraft auf die Scheibe resultiert, die tangential ausgerichtet ist. Dabei wird durch unterschiedliche Induktivitäten der beiden Spulen und zusätzliche magnetische Nebenschlüsse eine Phasenverschiebung zwischen dem Fluss Φ_1 und der Spannung u_1 von genau $-\frac{\pi}{2}$ erreicht, während u_2 , i_2 und Φ_2 in Phase bleiben. Der resultierende zeitliche Verlauf der Flüsse bei einer cosinusförmigen Anregung ist den Gleichungen 2.10 und 2.11 zu entnehmen, wobei A_0 den konstanten Betrag des umlaufenden Wechselfeldes darstellt. Dieses erzeugt in der Scheibe ein elektrisches Moment M_{el} , welches zur Wirkleistung proportional ist (Gleichung 2.12). Das Moment dreht die Scheibe durch das Feld des Bremsmagneten, wobei Wirbelströme entstehen, die der Bewegung entgegen wirken. Das Bremsmoment ist proportional der Drehzahl der Scheibe (Gleichung 2.13). Da sich die beiden Momente das Gleichgewicht halten, resultiert die Drehzahl n wie in Gleichung 2.14 angegeben [Sch95, S. 99–100].

$$\Phi_1 = A_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = A_0 \sin \omega t \quad (2.10)$$

$$\Phi_2 = A_0 \cos \omega t \quad (2.11)$$

$$M_{el} = k_e \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.12)$$

$$M_{mag} = k_m \cdot n \quad (2.13)$$

$$n = \frac{k_e}{k_m} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.14)$$

Die sich drehende Aluminiumscheibe des Zählers setzt eine Welle in Bewegung, welche bei entsprechender Untersetzung die Anzahl der Umdrehungen an einem Rollenzählwerk als verbrauchte kWh anzeigt. Das Rollenzählwerk dient dabei als integrierender Zähler.

2.3.4 Wärmezähler und Heizkostenverteiler

Zur Erfassung des Wärmeverbrauchs, also der umgesetzten Energie an verschiedenen Orten eines Gebäudes, werden sogenannte Wärmezähler (Abbildung 2.10) eingesetzt. Diese Geräte bestimmen aus der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf eines Heizungsrohres und dem Durchfluss die vom Verbraucher umgesetzte Energiemenge, wie in den Gleichungen 2.15, 2.16 und 2.17 ausgeführt. In der Vergangenheit bestanden Wärmezähler aus einem Verdunsterröhrchen und einem Durchflusszähler mit Rollenzählwerk, moderne Geräte dagegen arbeiten vollelektronisch. Dazu wird in der Leitung des Heizungsvorlaufs und in der des -rücklaufs jeweils ein Temperatursensor und zur Erfassung des Mediendurchflusses in einer der Leitungen ein Durchflussmesser eingesetzt (Abbildung 2.9).

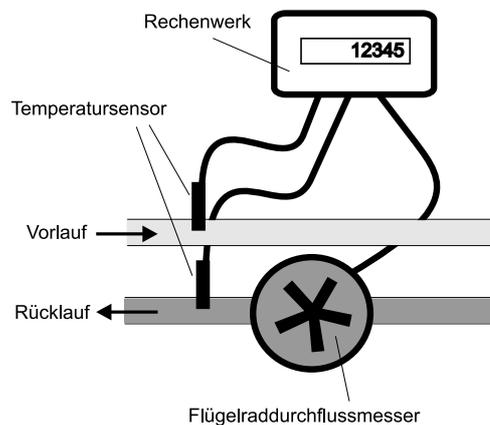


Abbildung 2.9: Schematischer Aufbau eines Wärmezählers

Zur Berechnung der abgegebenen Wärmeleistung $P(t)$ eines Heizsystems sind die Temperaturen in Vor- und Rücklauf (ϑ_V , ϑ_R), sowie der Massendurchfluss Q_m maßgebend. c_p in Gleichung 2.15 steht zudem für eine physikalische

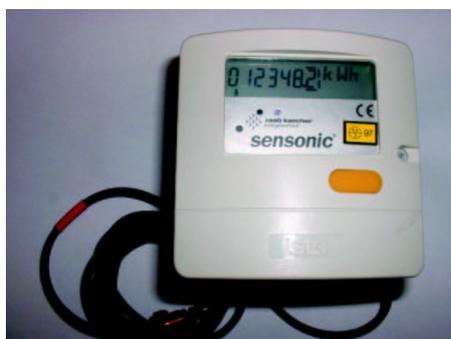


Abbildung 2.10: Elektronischer Wärmehzähler vom Typ „Sensonic“, Quelle: Viterra Energy Services AG

Größe, die das wärmetragende Medium in Dichte und Wärmehinhalt charakterisiert ([Kup93, S. 59]).

Für eine exakte Berechnung der umgesetzten Energie wäre die Messung des Massendurchflusses notwendig, jedoch kommen in der Praxis vor allem aus wirtschaftlichen Gründen ausschließlich Volumendurchflussmesser zum Einsatz. Der in Gleichung 2.15 angegebene Massendurchfluss Q_m sowie der Faktor c_p werden in Gleichung 2.16 ersetzt durch den Volumendurchfluss am Messort $\dot{V}_{V(R)}$ und den sogenannten Wärmekoeffizienten $k_{V(R)}$, der den Messort (Vorlauf oder Rücklauf), den aktuellen Druck und die Art des Wärmeträgers berücksichtigt. Eine Integration über die Zeitspanne zwischen t_1 und t_2 liefert schließlich die umgesetzte Wärmemenge (Gleichung 2.17).

Ausdruck	Dimension	Bedeutung
$P(t)$	W	Heizkörperleistung
P_n	W	Heizkörpernormleistung
ϑ_H	$^{\circ}C$	Mittlere Heizkörpertemperatur
ϑ_R	$^{\circ}C$	Raumlufttemperatur
ϑ_S	$^{\circ}C$	Sensortemperatur
$\Delta\vartheta$	$^{\circ}C$	Heizkörperübertemperatur
$\Delta\vartheta_n$	$^{\circ}C$	Heizkörperübertemperatur im Normzustand
n_H		Heizkörperexponent
T	s	Integrationszeitspanne
Q	J	Während T abgegebene Wärme

Tabelle 2.1: Verwendete Bezeichnungen bei Heizkostenverteilern

$$P(t) = c_p \cdot Q_m \cdot [\vartheta_V(t) - \vartheta_R(t)] \quad (2.15)$$

$$P(t) = k_{V(R)} \cdot \dot{V}_{V(R)} \cdot [\vartheta_V(t) - \vartheta_R(t)] \quad (2.16)$$

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \quad (2.17)$$

Aktuelle Wärmehähler arbeiten fast alle auf elektronischer Basis mit mindestens zwei Temperaturfühlern und einem Durchflussmesswerk, das meist als ein- oder mehrstrahliges Turbinenrad mit Umdrehungszähler ausgeführt ist. Wärmehähler werden häufig bei Fußboden- oder Strahlungsheizungen eingesetzt sowie in der Zuführung zu größeren Heizungsgruppen (z.B. ein Stockwerk eines Bürogebäudes). Zur Erfassung des Heizwärmeverbrauchs in einzelnen Räumen an Radiatorheizkörpern kommen im allgemeinen Heizkostenverteiler (Abbildungen 2.11 und 2.12) zum Einsatz. Diese Geräte liefern



Abbildung 2.11: Chemischer Heizkostenverteiler vom Typ „Exemper“, Quelle: Viterra Energy Services AG

standardmäßig einen Zählwert, der der luftseitig umgesetzten Energie an dem jeweiligen Radiator entspricht.

Chemische Heizkostenverteiler (HKV-V, Abbildung 2.11) arbeiten mit einer schwer verdunstenden Flüssigkeit, deren Abnahme proportional zur vom



Abbildung 2.12: Elektronischer Heizkostenverteiler vom Typ „Doprino“,
Quelle: Viterra Energy Services AG

Heizkörper abgegebenen Wärme ist. Der Stand dieser Flüssigkeit muss in definierten zeitlichen Abschnitten (z.B. ein Jahr) abgelesen und das Röhrchen anschließend erneuert werden.

Elektronische Heizkostenverteiler (HKV-E, Abbildung 2.12) erfassen den Energieverbrauch über eine Differenztemperaturmessung (Zweifühlerbetrieb) bzw. eine Differenzbildung der Heizkörpertemperatur mit einer festen, gespeicherten Temperatur (Einfühlerbetrieb). Über eine zeitliche Integration dieser Temperaturdifferenz erhält man einen der Energie proportionalen Zählwert. Dieser wird über ein entsprechendes Display angezeigt oder über eine meist proprietäre Datenschnittstelle per Kabel, Infrarot- oder Funkübertragung zur Weiterverarbeitung versandt. Mit den Bezeichnungen aus Tabelle 2.1 ergeben sich folgende Gleichungen zur Berechnung der verbrauchten Wärmemenge:

$$\Delta\vartheta = \overline{\vartheta}_H - \vartheta_R \quad (2.18)$$

$$P(t) = P_n \cdot \left(\frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_n}\right)^{n_H} \quad (2.19)$$

$$Q = \int_0^T P(t) dt \quad (2.20)$$

Die mathematischen Zusammenhänge zwischen verbrauchter Energie und Zählerfortschritt eines Heizkostenverteilers werden im folgenden kurz erläutert. In Gleichung 2.19 wird die tatsächliche Heizkörperleistung aus der

Normleistung und der Übertemperatur (Gleichung 2.18) mit dem sogenannten Potenzgesetz errechnet, das für Heizmittelströme von 20 bis 100 Prozent des Normheizmittelstromes gilt. Der Heizkörperexponent stellt dabei eine gerätespezifische Konstante dar, die vom Hersteller des Heizkörpers oder der DGWK (Deutsche Gesellschaft für Warenkennzeichnung) veröffentlicht wird. Mit Hilfe eines Heizkostenverteilers wird die aktuelle Übertemperatur $\Delta\vartheta$ des Heizkörpers gemessen. Für Abrechnungszwecke ist jedoch nicht die momentane Wärmeleistung des Gerätes von Interesse, sondern die über einen gewissen Zeitraum abgegebene Wärme, die sich laut Formel 2.20 berechnet. Die in den Heizkostenverteiltern gespeicherten Bewertungsfaktoren dienen schließlich zur Gewichtung der aufintegrierten Übertemperaturen. Eine Aufstellung der verschiedenen Parameter ist in Tabelle 2.2 gegeben.

Ausdruck	Bedeutung
K_Q	Heizkörperleistungskorrekturfaktor
K_C	Kontaktgüte
C	C-Wert
K_T	Raumtemperaturlauslegung-Korrekturwert
K_A	Anschlussart-Korrekturwert
K_{ges}	Gesamtbewertungsfaktor

Tabelle 2.2: Bewertungsfaktoren für Heizkostenverteiler nach DIN 4713

Der Korrekturfaktor K_Q ist für die Berücksichtigung der Normwärmeleistung des Heizkörpers notwendig. Werden beispielsweise zwei Heizkörper des gleichen Typs, jedoch unterschiedlicher Länge betrachtet, die eine Normwärmeleistung von 1000W und 2000W haben, so muss bei gleichen Betriebsbedingungen die Anzeige des Heizkostenverteilers auf dem größeren Heizkörper mit dem Faktor 2 gewichtet werden, um einen der Wärmeabgabe proportionalen Anzeigefortschritt zu erreichen.

Durch die unterschiedliche thermische Ankopplung der Heizkostenverteiler an verschiedene Bauarten von Heizkörpern ist es notwendig, den Wärmeübergang von der Wasserseite des Heizkörpers zum Heizkostenverteiler in die Berechnung des Anzeigefortschrittes miteinzubeziehen. Der K_C -Wert ergibt sich dabei aus dem C-Wert, dem Temperaturabstandsverhältnis zwischen der mittleren Heizkörpertemperatur und der Temperatur des Sensors einerseits und der mittleren Heizkörpertemperatur und der Raumlufttemperatur andererseits (Gleichung 2.21). Der C-Wert muss für jeden Heizkörper gemessen werden. Aus diesem C-Wert kann die sogenannte „Verdunstungskurve“ des Gerätes ermittelt werden, die Abhängigkeit der Verdunstungsgeschwindigkeit

der Heizkostenverteilerflüssigkeit eines HKV-V von der Heizmedientemperatur. Zu Ermittlung des K_C -Faktors zur Anzeigenkorrektur wird die ermittelte Verdunstungsgeschwindigkeit zu der eines DIN-Stahlradiator ins Verhältnis gesetzt.

$$C = \frac{\overline{\vartheta}_H - \vartheta_S}{\overline{\vartheta}_H - \vartheta_R} \quad (2.21)$$

Bei Radiatoren, die in Räumen montiert sind, deren Raumlufttemperatur stark von der Auslegungstemperatur 20°C abweicht, muss der Korrekturwert K_T berücksichtigt werden. Dieser Wert korrigiert die Änderung der Heizkörperleistung und des C-Wertes bei Räumen, deren Auslegungsvorlauftemperatur von 20°C um mehr als 4 Kelvin abweicht. Dies ist beispielsweise in Garagen oder Treppenhäusern der Fall.

Die Anschlussart eines Heizkörpers, wie beispielsweise gleichseitiger, wechselseitiger, reitender oder Mittenanschluss, hat großen Einfluss auf die Normwärmeleistung des Radiators und damit auch auf den Anzeigefortschritt eines Heizkostenverteilers. Die verschiedenen Anschlussarten werden durch den Faktor K_A , den Anschlussart-Korrekturwert, in der Zählung durch den Heizkostenverteiler berücksichtigt.

$$K_{ges} = K_Q \cdot K_C \cdot K_T \cdot K_A \quad (2.22)$$

Aus allen genannten Korrekturfaktoren wird ein Gesamtbewertungsfaktor K_{ges} laut Gleichung 2.22 erzeugt. Mit diesem Faktor ist das Anzeigergebnis des Heizkostenverteilers zu wichten. Bei elektronischen Heizkostenverteiltern ist die Möglichkeit der Wichtung bereits integriert. Den größten Einfluss auf das Anzeigergebnis haben die Faktoren K_Q und K_C . Die beiden anderen Faktoren K_T und K_A beschreiben Spezialfälle und sind üblicherweise gleich eins.

2.4 Messeinrichtungen und Regelungen

Die angesprochenen Sensoren bzw. ihre Wirkprinzipien sind in Form von Messeinrichtungen in jedem Haus präsent. Die Verbindung eines Sensors wie der Scheibe des Ferrariszählers mit einem Rollenzählwerk resultiert in einem Zähler. Zur Anbindung der mechanischen Zählwerke an ein elektronisches System wird meist eine Impulsschnittstelle genutzt. Der Impulsgeber ist dabei entweder bereits im Zähler integriert oder kann zur Nachrüstung

extern am Zähler montiert werden. Die Impulsauslösung erfolgt dabei über einen optischen (Reflexlichtschranke) oder magnetischen (Reedkontakt) Sensor. Elektronische Zählwerke bieten meist mehrere externe Schnittstellen an. So sind sowohl Impulsausgänge, als auch komplexere serielle Schnittstellen vorhanden, wie beispielsweise M-Bus oder RS-232/485. Bei Wärmezählern und Heizkostenverteilern werden in zunehmendem Maße auch Funkschnittstellen zur Datenübertragung eingesetzt. Dies bietet sich bei dieser Art von Zählern an, da durch den Einbauort außerhalb eines abschirmenden Installationskastens die Funkübertragung begünstigt wird.

Die in modernen Gebäuden vorhandene Aktorik besteht zum großen Teil aus elektrischen Stellantrieben für Rolläden, Fenster und Lüftungsklappen sowie aus Brennern, Ventilen, Pumpen und Ventilatoren. Diese Aktoren sind meistens für den Energieaustausch bzw. Transport verantwortlich und tragen somit zu einer Steuerung des Energiebedarfs eines Gebäudes bei.

Um Aktorik und Sensorik jedoch wirksam einsetzen zu können, ist eine Verknüpfung beider Komponentenklassen notwendig. Diese wird durch Regelungen bzw. Regelungssysteme im Gebäude geschaffen. Durch die Verwendung einer Regelung ist es möglich, eine Zustandsgröße des Hauses (z.B. Raumtemperatur) exakt einzustellen. In Heizungsanlagen ist die Verwendung von Regelungen der Brennstelle bereits seit Jahren Standard. In Zukunft wird sich die Regelung auch auf die einzelnen Räume ausweiten, so dass eine bedarfsgeführte Einzelraumregelung ermöglicht wird, die entscheidend zur Energieeinsparung innerhalb eines Gebäudes beitragen kann.

In komplexeren Zweckbauten ist durch die erforderliche Gebäudeinfrastruktur eine große Anzahl von Sensoren und Aktoren im Bereich Heizung, Lüftung und Klimatisierung notwendig. Folglich sind in einem solchen Gebäude auch eine Vielzahl von Regelkreisen aktiv, die unterschiedliche Sensoren und Aktoren einbeziehen. Bei herkömmlicher Installation entstehen so viele kleine Inseln von Regelungen, die mit den anderen Systemen im Gebäude überhaupt nicht oder nur über proprietäre Schnittstellen Daten austauschen können. Es werden mehrfache Sensoren zur Aufnahme einer Größe notwendig (z.B. ein Fensterkontakt für die Alarmanlage und ein zweiter für die Steuerung einer Einzelraumregelung zur Raumkonditionierung), größere Komplexität entsteht, zusammen mit einem höheren Wartungsaufwand und schließlich auch höheren Betriebskosten der Anlagen. Um die Komplexität der Einzelsteuerung bzw. -regelung zu reduzieren und Regelkreise auf einfache Weise zu entflechten, bietet sich hier die Vernetzung der Gebäudesensorik und -aktorik über ein Bussystem an.

2.5 Gebäudesystemtechnik

Die fortschreitende Vernetzung von technischen Geräten wie Telefon und PC bindet in der Konsequenz auch die im Gebäude vorhandene Installationstechnik ein. Dabei spielen Bussysteme wie LON („Local Operating Networks“, [Ech02]) oder EIB/Konnex („European Installation Bus“, [EIB98]) eine große Rolle. Ein solches Bussystem ermöglicht die Informationsübertragung zwischen Sensoren und Aktoren über gemeinsame Datenleitungen. Bei den meisten dieser Systeme ist auch die Speisung von angeschlossenen Komponenten niedriger Leistungsaufnahme mittels einer über die Datenleitung mitgeführten Kleinspannung möglich. Der Datenzugriff auf den Bus erfolgt durch standardisierte, statistische Verfahren wie beispielsweise das beim EIB eingesetzte „CSMA/CA“ (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), das eine Vermeidung von Kollisionen beim wahlfreien Zugriff erlaubt ([Wei01, S. 39]). Die Installation eines solchen Bussystems (z.B. EIB) ist in der Regel ohne spezielle Topologievorgaben möglich, es sind also Stern-, Bus-, Baumtopologien und Mischformen daraus möglich. Die meisten Handwerksbetriebe sind jedoch vom Wissensstand und auch ausrüstungstechnisch nicht in der Lage, eine Vernetzung im privaten Bereich zu planen bzw. durchzuführen. Dabei ist die Vernetzung des privaten Wohnbaus der nächste Schritt in der Entwicklung der Haustechnik (nach [Gla98]).

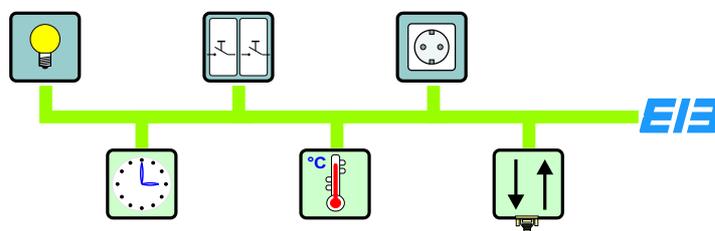


Abbildung 2.13: Vernetzung einzelner Sensoren und Aktoren über EIB

An verschiedenster Stelle sind, wie in [Bal99] und auch oben bereits erwähnt, intelligente Steuerungen und Regelungen in der Haustechnik vorhanden. Viele dieser Geräte verwenden bereits spezialisierte Bussysteme, um die jeweiligen Sensoren und Aktoren (z.B. einer Heizungsanlage) zu verbinden, jedoch bleiben diese Netze meist Inselösungen.

Um aus verschiedenen Steuerungen in der Haustechnik ein gesamtes, vernetztes System konstruieren zu können, ist es erforderlich, dass die Einzelsysteme entsprechend standardisierte Schnittstellen zur Verfügung stellen. Jedoch erleichtert selbst dies den Vernetzungsgedanken nicht. Im Gegenteil: Durch die

Vielzahl unterschiedlicher, nicht kompatibler Insellösungen steigt die Komplexität und damit auch die Fehleranfälligkeit des Systems. Aufgrund von Zuverlässigkeitsüberlegungen gegenüber zentralen Systemen mit einem intelligenten Steuergerät hat sich die Technik in der Gebäudeautomatisierung in Richtung von verteilten Systemen entwickelt. Die dabei eingesetzte Bustechnologie ermöglicht die einfache Vernetzung von Sensoren (Schalter, Taster, Dimmer, Temperatursensorik, Bewegungsmelder, etc.) mit den zugehörigen Aktoren (Licht, Rollladenmotor, Heizung, etc.) über dieselbe Leitung. Durch die oben erwähnte Kleinspannung können Sensoren und Buskoppeleinheiten direkt über das Buskabel gespeist werden, benötigen also keinen zusätzlichen Netzanschluss. In Abbildung 2.13 ist beispielhaft ein Ausschnitt der Topologie eines solchen Netzes dargestellt.

2.6 Abrechnungsmöglichkeiten

Die Abrechnung der von einem Serviceprovider oder Erzeuger gelieferten Energie ist ein wichtiger Faktor bei der Betrachtung von Energieverbrauchern in Gebäuden. Die Abrechnung erfolgt meist über den von den Sensorsystemen erfassten Zählerstand. Dieser muss in regelmäßigen Abständen abgelesen werden. Bislang wird dies durch einen Ableser meist einmal im Jahr erledigt. An die Stelle dieser Ablesung kann auch eine Fernauslesung treten, die die erfassten Verbräuche per Telefonleitung an das Abrechnungsunternehmen überträgt.

Bei der Abrechnung unterscheiden sich die einzelnen Ressourcen. Strom, Wasser, Öl und Gas werden direkt über die erfassten Verbrauchswerte abgerechnet, Heizenergie und Warmwasser über ein Verteilverfahren. Beide Verfahren sind nachfolgend kurz beschrieben.

2.6.1 Direkte Verbrauchswerte

Bei der direkten Abrechnung erfasst der Serviceprovider den Verbrauch innerhalb einer bestimmten Zeitspanne durch Ablesung des aktuellen Zählerstandes und Differenzbildung mit dem Wert der letzten Ablesung. Anschließend werden die gezählten Einheiten mit einem Preis pro Einheit multipliziert und das Ergebnis bezeichnet die Forderung an den Nutzer. Der jeweils installierte Zähler zählt folglich direkt die zu erfassende Ressource und muss entsprechende Genauigkeit aufweisen. Diese wird durch regelmäßigen Austausch in genügend langen Zeiträumen und Nacheichung ([Bun88]) gewährleistet.

2.6.2 Verteilte Verbrauchswerte

Durch die direkte Abrechnung von Ressourcen wie Strom, Wasser und Gas ergibt sich die Verteilung von Energiekosten fast ausschließlich für Heizung und Warmwasser. Stellvertretend für andere verteilte Verbrauchsabrechnungen soll deshalb im folgenden die Abrechnung von Heizkosten beschrieben werden.

Nach den Bestimmungen der Heizkostenverordnung ([Bun89]) hat der Gebäudeeigentümer die Gesamtkosten der Versorgung mit Wärme und Warmwasser auf der Grundlage der Verbrauchserfassung auf die einzelnen Nutzer zu verteilen. Dazu werden zunächst die gesamten Energiekosten des Gebäudes ermittelt, was beispielsweise bei einer Heizungsanlage die direkte Erfassung des Ressourcenverbrauchs (Öl, Gas, Strom) zuzüglich Wartung, Instandhaltung, etc. bedeutet. Die Gesamtkosten setzen sich aus einem verbrauchsabhängigen und einem verbrauchsunabhängigen Anteil zusammen. Laut [Bun89, §7, Abs.1 und §8, Abs. 1] muss der verbrauchsabhängig zu verteilende Anteil mindestens 50 Prozent und maximal 70 Prozent der Gesamtkosten betragen. Dabei ist zu beachten, dass ca. 30 Prozent der Gesamtkosten bereits unabhängig von der individuellen Nutzung entstehen. Diese Kosten werden durch Wartung sowie Leitungs- und Kesselverluste verursacht und nach festen Maßstäben (m^2 oder m^3) auf die Nutzer verteilt. Der verbrauchsabhängig zu verteilende Anteil von maximal 70 Prozent der Gesamtkosten entspricht der im Abrechnungszeitraum angefallenen Summe aller Zählerschritte der installierten Heizkostenverteiler oder Wärmezähler. Die verbrauchsabhängigen Kosten werden folglich entsprechend der verbrauchten Einheiten auf die Nutzer verteilt. Unter Verwendung der in Tabelle 2.3 angegebenen Größen erhält man laut Heizkostenverordnung [Bun89] die Heizkosten einer Wohnung innerhalb einer Abrechnungseinheit (Liegenschaft) durch den in Formel 2.23 angegebenen Zusammenhang. Der dabei verwendete Wichtungsfaktor w gibt an, welcher Anteil der Heizkosten, wie oben bereits erwähnt, verbrauchsabhängig verteilt wird.

$$K_{Hi} = \left[w \cdot \frac{A_i}{\sum_{j=1}^{N_W} A_j} + (1 - w) \cdot \frac{A_{wi}}{\sum_{j=1}^{N_W} A_{wj}} \right] \cdot K_{H,Geb.} \quad (2.23)$$

Trotz der erheblichen technischen Weiterentwicklung der Heizkostenverteiler sind die gelieferten Informationen für den Nutzer über sein individuelles Heizverhalten praktisch unverändert geblieben. Eine Vorstellung, ob er viel oder wenig Heizwärme verbraucht hat, erhält der Nutzer erst einige Monate später mit der Heizkostenabrechnung. Eine kurzfristige Rückkopplung und damit die

Ausdruck	Bedeutung
K_{Hi}	auf Wohnung i entfallende Heizkosten
$K_{H,Geb.}$	gesamte Heizkosten der Abrechnungseinheit
w	Wichtungsfaktor
A_i	Anzeige in Wohnung i
A_{wi}	Wohnfläche in Wohnung i
N_W	Anzahl der Wohnungen

Tabelle 2.3: Verwendete Bezeichnungen bei der Heizkostenberechnung

Möglichkeit, sein Heizverhalten selbstkritisch zu bewerten, bekommt der Nutzer nicht. Im Einsatzbereich von Heizkostenverteilern haben sich in den letzten Jahren jedoch erhebliche Veränderungen ergeben. Dies betrifft vor allem den durch mehrmalige Änderungen der Wärmeschutz- und der Heizungsanlagenverordnung [Bun89] bewirkten reduzierten Heizenergiebedarf von Neubauten. Die gesunkenen Energiekosten machen es aus Gründen der Messrentabilität insbesondere im Neubaubereich notwendig, die Abrechnungs- bzw. Erfassungskosten ebenfalls möglichst niedrig zu halten.

Kapitel 3

Anforderungen und Überlegungen zur Realisierbarkeit

Für die Konzeption und Realisierung eines Energiemonitoringsystems werden verschiedene Komponenten mit speziellen Eigenschaften benötigt. Diese sind im folgenden kurz aufgeführt und werden anschließend ausführlich erläutert.

- Verteilte, elektronische Sensorik mit drahtloser Datenübertragung
- Zeitliche Auflösung der Sensorik im Bereich weniger Stunden
- Einheit zur Sammlung und Vorverarbeitung der Messwerte
- Integration einer Möglichkeit zur Abrechnung
- Gesicherte Übertragung von personenbezogenen Daten
- Zeitnahe Visualisierung von Verbrauchswerten
- Einfache Bedienung des Systems durch den Nutzer
- Fernkonfigurationsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten

Ein System zum Energiemonitoring umfasst verschiedene, räumlich verteilte Geräte, die unterschiedliche Aufgaben erfüllen: Zum einen müssen die Energieverbräuche gemessen und gegebenenfalls vorverarbeitet werden. Die Erfassung geschieht dabei an verschiedenen Orten (z.B. Verbrauchsmessung von Heizenergie in mehreren Räumen einer Wohnung), da die Verbrauchsstellen nicht zentral lokalisiert werden können. Die verteilten Messdaten müssen

schließlich an einem Punkt gesammelt werden. Dies kann über ein einstufiges, mehrstufiges, baumartiges oder sternförmiges Netz von Datenkonzentratoren erfolgen. Im zentralen Sammelpunkt müssen die übertragenen Verbrauchsdaten verarbeitet und aufbereitet werden. Eine Auslese- oder Datenfernübertragungsmöglichkeit für den Serviceprovider zu Abrechnungszwecken ist hier sinnvoll zu integrieren. Eine weitere Komponente des Systems stellt die Visualisierung dar. Diese dient zur Darstellung der Verbrauchsdaten und bildet die Mensch-Maschine-Schnittstelle zum Nutzer, der die Bedienung dieser Einheit selbst vornehmen soll. Deshalb ist es bei der Konzeption eines solchen Systems immanent wichtig, nicht nur die technischen Gegebenheiten zu berücksichtigen, sondern vor allem die Faktoren genau zu prüfen, die den Teil des Systems betreffen, der beim Betrieb mit dem Nutzer interagieren soll. Solche menschlichen Faktoren sind die Haptik der Bedienung, die visuellen Eigenschaften der Anzeige und die Ergonomie der Darstellung. Um solche schwer mathematisch erfassbaren Faktoren trotzdem in die Konzeption einfließen lassen zu können, müssen zunächst die Ziele und die Zielgruppe der Anwendung definiert werden.

3.1 Ziele der Anwendung

Das primäre Ziel des Energiemonitoringsystems ist die Visualisierung des Energieverbrauchs einer Wohnung bzw. eines Hauses. Der Verbrauch wird auf einer Anzeige dargestellt. Eine Umschaltung der Darstellung der Anzeige mittels einer Eingabesensorik soll ebenfalls möglich sein, um dem Nutzer mehrere mögliche Auswertungen der Verbrauchsdaten zugänglich machen zu können. Die Anzeige sollte kontrastreich und be- bzw. hinterleuchtet sein, um eine optimale Ablesung auch durch ältere Menschen gewährleisten zu können. Aus dem gleichen Grund muss die Eingabesensorik einfach zu bedienen und gleichzeitig robust sein.

Das Ziel des Energiemonitorings ist es, dem Nutzer seinen Energieverbrauch sehr zeitnah vor Augen zu führen und so einen Lerneffekt bei ihm anzustoßen, der schließlich zu Energieeinsparung führt. Hierzu ein Beispiel: Wie in [Umw00] erwähnt, mindert „jedes Grad Raumtemperatur weniger [...] die Heizkosten um etwa 6%“. Theoretisch ist diese Tatsache vielen Bewohnern bekannt, doch kann ein Nutzer ohne Energiemonitoringsystem seinen Energieverbrauch nicht zeitnah kontrollieren. Erst die jährliche Heizkostenabrechnung würde die Einsparung zeigen. Eine Absenkung der Temperatur über die gesamte Heizperiode hinweg wird folglich nicht durchgehalten, da weder der zeitliche, noch der örtliche Bezug zwischen Energieverbrauch und entstehenden Kosten gegeben ist.

Die Zielgruppe des Systems liegt sowohl im privaten Bereich des Nutzers, als auch im Sektor der Abrechnungsunternehmen und Serviceprovider. Der Nutzer, der kritisch an der Optimierung seiner laufenden Kosten – nicht nur auf dem Energiesektor – interessiert ist, wird eine Einrichtung zum Energiemonitoring begrüßen. Zur Zielgruppe der Applikation zählen zudem Büros und ihre Angestellten, die sich durch das System über den Verbrauch „ihres“ Büroraumes informieren können. So werden Energieeinsparungen möglich, die letztlich dem entsprechend ausgerüsteten Unternehmen große Einsparungspotenziale eröffnen. Obwohl es nicht primäres Ziel der Arbeit ist, müssen die Kosten für die Einrichtung eines solchen Systems möglichst niedrig sein, um eine reale Einsparung nach Gegenrechnung der Systemkosten zu ermöglichen. Der Bereich der Serviceprovider bzw. Abrechnungsunternehmen profitiert durch die Einrichtung eines Energiemonitoringsystems von einer automatischen Verbrauchsdatenerfassung und einer breiten Datenbasis mit der Möglichkeit, Mehrwertdienste wie Verbrauchsanalysen und Energieberatungen ohne großen Zusatzaufwand anzubieten zu können.

3.2 Anwendungsfälle

Obwohl das angestrebte Energiemonitoringsystem in Industrie- und Bürogebäuden wegen besserer Kommunikationsinfrastruktur problemlos einsetzbar ist, soll es besonders für die Verwendung im privaten Bereich konzipiert werden. Dabei wäre ein solches System über die ohnehin in Mehrfamilienhäusern und größeren Mietshäusern tätigen Abrechnungsunternehmen vermarktbar. Das einzelne private Heim steht bei den Betrachtungen nicht im Vordergrund, da hier zuerst die nötige Sensorik (Heizkostenverteiler, Wärmezähler) integriert werden muss, welche bei Liegenschaften mit mehreren Mietparteien vorhanden ist. Eine Ausnahme bilden hier die immer mehr Verbreitung findenden „intelligenten Häuser“, die bereits in der Bauphase mit Gebäudesystemtechnik und Einzelraumregelungen ausgerüstet wurden. Ein solches Haus bietet hervorragende Möglichkeiten zur Realisierung eines Energiemonitoringsystems.

3.3 Aufteilung in Komponenten

Die Konzeption und Entwicklung eines Systems zum Energiemonitoring erfordert eine Aufspaltung des gesamten Problems in Teilprobleme. Diese Aufteilung erlaubt nicht nur ein Vereinfachen der Realisierung von Einzelkomponenten, sondern ermöglicht erst ein „offenes System“. Das wesentliche Merk-

mal eines solchen Systems ist die Modularität der enthaltenen Komponenten, was wiederum eine sehr große Flexibilität und Erweiterbarkeit desselben in der Konzeptionsphase und im späteren Betrieb nach sich zieht. Im folgenden werden die dazu erforderlichen Komponenten kurz beschrieben.

3.3.1 Messung und Datenerfassung

Je nach vorliegender Ressource bzw. Energieart müssen geeignete Sensoren gewählt und deren elektronische Schnittstellen für die Datenerfassung angepasst werden.

Heizenergie

Um Heizenergie sensorisch erfassen zu können, wird eine Differenzmessung zweier Temperaturen durchgeführt. Dabei werden bei luftseitig bilanzierenden Heizkostenverteilern zum einen ein Raumtemperaturäquivalent (idealerweise die Raumtemperatur selbst) und zum anderen die Heizkörpertemperatur gemessen. Diese analogen Temperaturwerte werden digitalisiert, es wird die Differenz gebildet und anschließend über einen Messzeitraum unter Einbeziehung der Normwärmeleistung des Heizkörpers integriert. Das Ergebnis stellt eine zur abgegebenen Energie des Heizkörpers proportionale Größe dar, die kumuliert und gespeichert werden muss. Bei Wärmehählern, die wesentlich genauere Messwerte als Heizkostenverteiler liefern, wird wasserseitig bilanziert, d.h. es werden Vor- und Rücklaufemperatur gemessen. Zusätzlich wird in diesen Geräten der Durchfluss des Mediums gemessen, der in das Messergebnis, wie in Abschnitt 2.3.4 beschrieben, eingeht.

Da ausgereifte, marktgängige Heizkostenverteiler und Wärmehähler bereits in vielen Varianten verfügbar sind, besteht das Problem der Messung in der Auswahl des richtigen Gerätes. Dabei kommen nur elektronische Geräte in Betracht, denn es muss auf verfügbare Schnittstellen zur externen Datenerfassung geachtet werden, wie auch auf die freie Konfigurierbarkeit der Geräte. Ebenso wichtig ist der eigene Energiebedarf der Sensorik und die somit evtl. erforderliche Stromversorgung. Um störende und aufwändige Kabelverbindungen für Stromversorgung und Datenkommunikation zu vermeiden, ist eine Datenübertragung zwischen Sensorik und weiterführender Datenerfassung und -verarbeitung per Funk erforderlich. Zudem muss gewährleistet sein, dass die Sensorsysteme durch die Integration in das Energiemonitoringsystem weiterhin zu Abrechnungszwecken genutzt werden können. Deshalb muss jeder Heizkostenverteiler auch eine eigene Anzeige besitzen, um eine herkömmliche Ablesung durch einen menschlichen Dienstleister zu ermöglichen. Die oben erwähnte Vorverarbeitung der gemessenen Temperaturwerte

bis hin zum energieäquivalenten Zählwert muss im Sensorsystem erfolgen, um eine höhere Zuverlässigkeit des Gesamtsystems erlangen zu können.

Da die auf Funkübertragung basierenden Messeinrichtungen meist unidirektional arbeiten, können die Daten nicht von einem Host angefordert werden. Die Daten werden vom Sensorsystem in zeitlich variablen Abständen übertragen. Die Abstände dieser Übermittlung bestimmt die maximal erreichbare, zeitliche Auflösung der Messeinrichtung. Für Abrechnungszwecke kann diese äußerst gering ausfallen, im Extremfall müsste der Sensor seinen Wert nur einmal jährlich, nämlich zu einem bestimmten Stichtag übertragen. Standardmäßig übertragen elektronische Heizkostenverteiler ihren aktuellen Zählwert alle 6-8 Stunden, was für eine Abrechnung genügt. Bei der Anwendung im Energiemonitoring sind jedoch Werte im Bereich von wenigen Stunden notwendig, um eine angestrebte Verbrauchsdarstellung in diesem Zeitraster erstellen zu können. Durch die Trägheit herkömmlicher Heizsysteme sind höhere zeitliche Auflösungen der Sensoren (z.B. im Minutenbereich) lediglich für den Einsatz in Regelungen sinnvoll, was jedoch eine zusätzliche Übertragung von aktuellen Temperaturwerten erfordert, die Verbrauchszähler im Normalfall nicht aufweisen.

Wasser, Gas und Strom (Standardzähler)

Zur Messung und Erfassung anderer Medien im Haushalt wie Wasser, Gas und Strom werden entsprechende Zähler, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, eingesetzt. Um diese meist mechanischen Zähler in das Energiemonitoringsystem integrieren zu können, müssen die Daten der Geräte elektronisch ausgelesen werden. Dies kann über verschiedene Schnittstellen (Impuls, M-Bus, RS-232, RS-485) geschehen, die der jeweilige Zähler bereitstellen muss oder die als Zusatzmodul zum Anbau an Zähler ausgeführt sein kann, die eine solche Schnittstelle noch nicht besitzen. Die am weitesten verbreitete Schnittstelle ist die Impulsschnittstelle. Der Zähler schließt dabei nach einer festgelegten Energiemenge kurzzeitig einen potenzialfreien Kontakt. Die Anzahl der ausgegebenen Impulse pro erfasster Menge Energie ist vom eingesetzten Zählertyp abhängig. Da eine solche Schnittstelle lediglich Zuwächse zum Zählerstand überträgt, ist eine nachgeschaltete Elektronik erforderlich, die die empfangenen Impulse zählt, in Verbrauchswerte (kWh bzw. m^3) umrechnet und diese kumuliert. Der entstandene Zählwert darf nicht oder nur wenig vom mechanisch gezählten Stand abweichen. Die dabei einzuhaltenden Eichfehlergrenzen liegen z.B. bei Kaltwasserzählern nach [Bun88, Anlage 6] bei maximal 10 Prozent der durchgeflossenen Wassermenge.

Um auch elektronische Zähler mit komplexeren Schnittstellen für das Energiemonitoring nutzen zu können, muss eine „M-Bus“ Schnittstelle in das

System integriert werden. Der M-Bus ist ein Master-Slave-Bus und stellt die zweithäufigste Anschlussmöglichkeit von Zählern an externe Geräte dar. Durch die bidirektionale Konzeption und das serielle Protokoll des M-Busses mit Bitraten von 300 bis 38400 Baud ([M-B98]) sind im Zusammenspiel mit Zählern auf elektronischer Basis aufwändigere Messungen (Maximal- und Minimalverbräuche) und Auswertungen (verschiedene Stichtagswerte, Lastprofile bei Elektrizitätszählern etc.) möglich. Der Aufbau des M-Bus-Protokollstacks orientiert sich am ISO/OSI-Referenzmodell, dem Modell zur Verbindung offener Systeme („Open Systems Interconnection“, Aufbau siehe Abbildung 3.1), das von der „International Organization for Standardization“ entwickelt wurde. Die M-Bus Spezifikation definiert nur die untersten drei Schichten des nach ISO/OSI aufgebauten Protokolls sowie den obersten Application Layer, der jedoch viele herstellerspezifische Parameter bietet. Dieser Umstand macht es sehr schwierig, eine allgemein definierte Schnittstelle für den Anschluss M-Bus-fähiger Zähler in das Energiemonitoringsystem zu integrieren.

3.3.2 Datentransport

Die in den Messeinrichtungen digital vorliegenden Verbrauchswerte müssen zur Weiterverarbeitung ausgelesen werden. Zum Transport der Daten ist eine Unterscheidung zwischen einer Übermittlung innerhalb und außerhalb der Liegenschaft notwendig. Neben der erforderlichen Funkübertragung der Sensordaten sind zusätzliche Datenverbindungen zwischen einzelnen Empfangsstationen notwendig, um einen Datenaustausch vornehmen zu können. Innerhalb einer Liegenschaft können dazu verschiedene Übertragungssysteme eingesetzt werden, da die zu überbrückenden Distanzen im Bereich von 100 Metern liegen. Die Nutzung kabelgebundener oder auf Funktechnologie basierender Feldbussysteme erlaubt die Verbindung verschiedener Empfangsknoten über eine meist niederrartige Steuerbusinfrastruktur. Die Vernetzung der Empfangsknoten über ein hochratiges Rechnernetzwerk ermöglicht im Gegenzug den Einsatz von marktgängiger Technologie und erweitert durch entsprechende Gatewaytechnologien die Datenübertragung nach außen, beispielsweise in das Internet. Nachfolgend wird auf jeweils einen Vertreter von Feldbussen und Rechnernetzwerken genauer eingegangen.

Gebäudesystemtechnik, EIB

In modernen Bauten kommt in den letzten Jahren verstärkt Gebäudesystemtechnik zum Einsatz. Diese auf niederrartigen Bussystemen basierenden Netze von Sensoren und Aktoren bieten flexible Möglichkeiten zur Überwachung,

Steuerung und Regelung unterschiedlichster Funktionen im Gebäude. Im Zusammenhang mit einem Energiemonitoringsystem kann ein solches Bussystem zur Übertragung von Verbrauchswerten dienen, die von Zählern erfasst werden, die in größerer Entfernung zur zentralen Verarbeitungseinheit lokalisiert sind. Bei Verwendung eines Bussystems wie dem EIB müssen die einzelnen Datenpunkte mit sogenannten Buskoppereinheiten (Bus Coupling Units, BCUs) versehen werden. Die Adaption der hardwareseitigen Schnittstelle stellt dabei kein großes Problem dar, da es sich um standardisierte serielle Interfaces handelt. Das besondere, zeitkritische Protokoll, das diese Schnittstelle verwendet, stellt jedoch erhöhte Anforderungen an die Software des anzuschließenden Datenknotens. Abgesehen vom Datentransfer zwischen Buskoppler und Datenknoten muss die Kommunikation der einzelnen Teilnehmer am Bus konform mit dessen Spezifikationen gehen. Dazu müssen die Verbrauchs- bzw. Zählwerte in entsprechende Datentypen gewandelt werden, die dann in Telegrammen nach den beschriebenen Typen des „EIB Interworking Standard“ (EIS), Tabelle 3.1 versandt werden (siehe auch [EIB98, 3/7/1–8]).

EIS-Type	Datentyp
1	Switching (Schaltobjekt, binäre Größe)
2	Dimming
3	Time
4	Date
5	Value (z.B. Temperaturwerte, Messgrößen)
6	Scaling (Relative Werte mit 8 bit Auflösung)
7	Drive Control (z.B. Rollladensteuerung)
8	Priority (Implementiert spezielle Schaltfunktionen)
9	Float Value (Fließkommazahlen nach IEEE 754)
10	16-bit Counter Value
11	32-bit Counter Value
12	Access (Implementiert Zugangskontrolldatenübertragung)
13	ASCII Character (Ein Text Zeichen)
14	8-bit Counter Value
15	Character String (14 Byte langer Text)

Tabelle 3.1: Datentypen des EIS

Beim Versenden eines EIB-Telegramms ist eine Gruppenadresse notwendig. Das Telegramm wird als Multicast versandt und der auf diese Gruppenadresse programmierte Empfänger reagiert anschließend auf das Telegramm. Em-

pfängerseitig können jedoch nur eine begrenzte Anzahl von Gruppenadressen im begrenzten Arbeitsspeicher des Buskopplers verwaltet werden. Bei der Konzeption des Energiemonitoringsystems ergeben sich hier Schwierigkeiten, da die Sensorenzahl schnell die Anzahl der von einer BCU verwaltbaren Gruppenadressen übersteigt.

Der Versand von einzelnen Verbrauchswerten über Konnex/EIB darf zudem keine hohen Anforderungen bezüglich der Datenrate an den Bus stellen, da die Übertragungsrate bei maximal 9600 Baud über ein „Twisted Pair“-Medium liegt. Da das Busmedium nicht nur von einem Teilnehmer genutzt wird und durch diesen Telegrammverkehr auf dem Bus Verzögerungen beim Senden auftreten können, steht jedem Teilnehmer nur eine wesentlich kleinere Nettodatenrate zur Verfügung. Ein zeitlich verteiltes Übertragen einzelner Verbrauchswerte erscheint hier deshalb sinnvoller als eine Blockübertragung von vielen, gebündelten Verbrauchswerten.

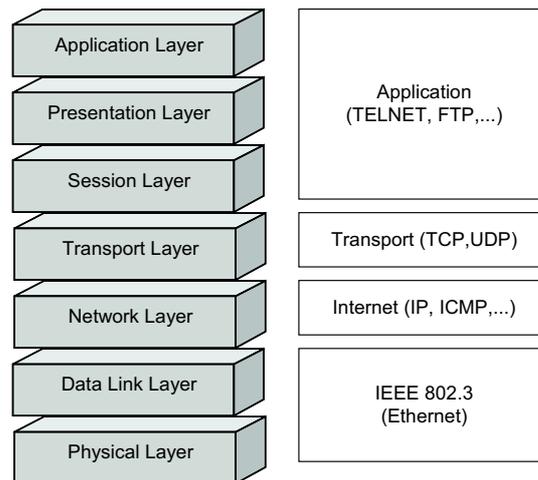


Abbildung 3.1: ISO/OSI-Modell im Vergleich zu TCP/IP-Protokollschichten

Netzwerktechnologie

Die Möglichkeiten der Gebäudesystemtechnik sind begrenzt, gerade wenn Datenmengen größer als ein Kilobyte übertragen werden müssen. Zur Fernauslesung und -konfiguration des Systems eignen sich Gebäudebusse von der Konzeption her nicht. Der im Umfeld der Computertechnik entwickelte Standard zur lokalen Vernetzung IEEE 802.3 mit seinen vielfältigen physikalischen Medien, nachfolgend vereinfachend „Ethernet“ genannt, kann nicht nur zur Fernauslesung und Anbindung an den Serviceprovider genutzt werden, sondern

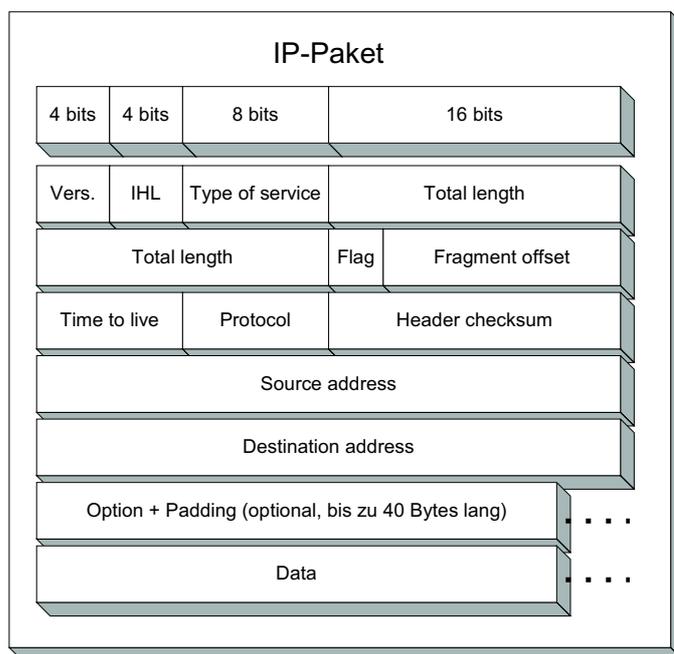


Abbildung 3.2: Aufbau eines IP-Paketes

auch zur Vernetzung von einzelnen Sensorknoten mit der zentralen Datenverarbeitung dienen. Ethernet definiert dabei die beiden untersten Schichten im ISO/OSI-Modell. Durch die Möglichkeit der freien Definition der darüber angeordneten Protokolle bietet sich eine große Flexibilität. Das Standardprotokoll IP (Internet Protocol) mit dem darüber liegenden TCP (Transfer Control Protocol) entsprechen, wie in Abbildung 3.1 gezeigt, den Schichten drei und vier des ISO/OSI-Modells. Der Aufbau eines IP-Paketes ist in Abbildung 3.2 und der eines TCP-Rahmens in Abbildung 3.3 dargestellt [O´R01]. Mit TCP/IP erhält man ein weltweites Standardprotokoll zur Vernetzung von elektronischen Geräten und Computern. Durch die große Verbreitung sind die zum Anschluss notwendigen Komponenten technisch ausgereift und zu einem günstigen Preis verfügbar.

Um eine Vernetzung über Ethernet mit TCP/IP im Energiemonitoringsystem durchführen zu können, müssen alle betroffenen Datenknoten mit einem Ethernetcontroller samt zugehörigem Transceiver ausgestattet werden. Die Software muss einen TCP/IP-Stack implementieren, sowie einige Standarddienste, um einen Fernzugriff auf das System zur Wartung, Diagnose und Konfiguration zu ermöglichen. Schließlich muss eine entsprechende Netzwerkinfrastruktur am Installationsort vorhanden sein, um die Ethernet-

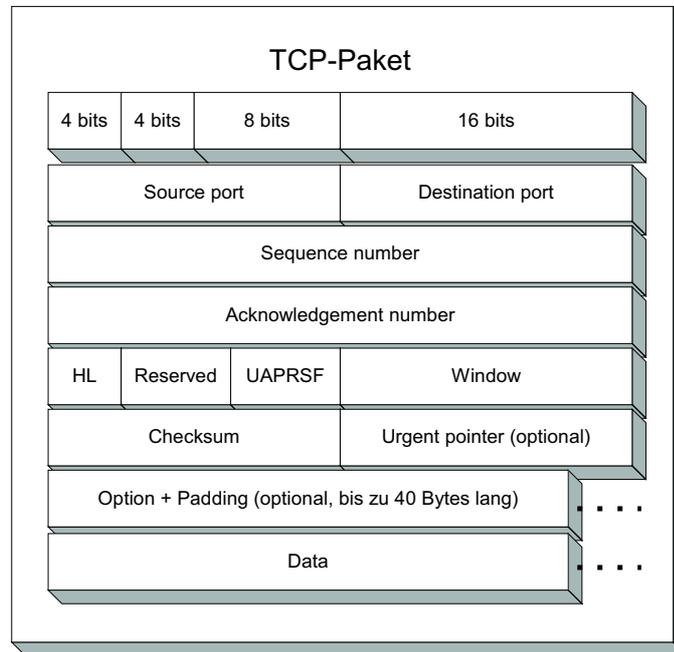


Abbildung 3.3: Aufbau eines TCP-Rahmens

tauglichen Datenknoten physikalisch anschließen zu können. Diese Infrastruktur besteht sowohl aus passiven Komponenten wie Kabeln, Anschlussdosen und Patchfeldern, als auch aus aktiven Geräten wie Netzwerkkonzentratoren (Hubs und Switches) und Gateways (Firewalls, Router, etc.). Die Notwendigkeit einzelner Komponenten richtet sich dabei nach dem hauptsächlichen Einsatzzweck des Netzwerkes, denn die alleinige Nutzung des Ethernets für Energiemonitoring wäre weder bei den Anschaffungs- noch bei den Betriebskosten wirtschaftlich. Bei Vorhandensein einer entsprechenden Infrastruktur zur Vernetzung von PCs oder Workstations z.B. zur Nutzung des Internets ergeben sich (auch durch die hohe Flexibilität des TCP/IP-Protokolls) beste Integrationsmöglichkeiten der Datenknoten des Energiemonitoringsystems.

Ethernet über Twisted Pair Kabel definiert bislang drei verschiedene Datenraten (10/100/1000 Mbit/s), die sich durch das TCP/IP-Protokoll auf eine weitaus geringere Nettodatenrate reduzieren. Eine Blockübertragung eines Pakets von Verbrauchswerten, das einige hundert Bytes bis wenige Kilobyte umfasst, ist jedoch über dieses Medium ohne weiteres möglich und benötigt lediglich einen Bruchteil der verfügbaren Bandbreite.

3.3.3 Verarbeitung der Rohdaten

Wie bereits am Anfang von Kapitel 3 erwähnt, müssen die Daten der einzelnen Sensoren ausgelesen und an eine zentrale Einheit übermittelt werden, die eine strukturierte Speicherung der Verbrauchsdaten vornehmen soll. Eine reine Speicherung solcher Daten ist jedoch aus verschiedenen Gründen nicht sinnvoll. Die Sensorwerte stammen aus verschiedenen Quellen und haben demzufolge unterschiedliche Formate. Abgesehen von der technischen Darstellung der Daten liegen die eigentlichen Energieverbrauchswerte in unterschiedlichen Größen vor. So werden von Heizkostenverteilern nur der verbrauchten Energiemenge proportionale Zählwerte übertragen, von Wärmehählern Zählwerte und Energiewerte und von Wasser-, Gas- und Elektrizitätszählern lediglich Impulszahlen. Diese Größen müssen umgerechnet werden, um einen vergleichbaren Verbrauchswert (z.B. in kWh) zu erhalten. Dazu sind bei Impuls- und Zählwerten einige Faktoren notwendig, die von äußeren Gegebenheiten wie Zählertyp, Impulsschnittstelle, Heizkörpertyp, Nennwärmeleistung oder thermischer Ankopplung abhängen und bei Inbetriebnahme im Energiemonitoringsystem konfiguriert werden müssen. Zudem muss erwähnt werden, dass die Datenübermittlungen zur Verarbeitungseinheit in unterschiedlichen Zeitintervallen auftreten. Dies ist ein weiterer Grund, der die Speicherung der Rohdaten überfordert, da der Platzbedarf oft übermittelter Verbräuche mit der zu erfassenden Zeitspanne linear ansteigt. Eine Verarbeitung der Verbrauchsdaten wie eine Plausibilitäts- und Integritätsprüfung, Kumulierung, Reduzierung und Mittelung, etc. ist deshalb notwendig.

Nicht nur die Einschränkung des zur Verfügung stehenden Speicherplatzes erfordert Algorithmen zur Reduzierung der übertragenen Datenmenge, sondern auch die eigentliche Anwendung der Daten ist zu berücksichtigen. So ist beispielsweise der stundengenau aufgelöste Verbrauchsverlauf eines Tages für den Nutzer durchaus von Interesse, während für reine Abrechnungszwecke ein zuverlässiger Verbrauchswert pro Jahr, nämlich der Stichtagswert, genügen würde. Zwischen diesen Extremen muss ein Mittelweg gefunden werden und deshalb müssen Methoden entwickelt werden, um die Auflösung der Daten im zeitlichen Verlauf zu reduzieren.

3.3.4 Zentrale Datenhaltung

Eine Verarbeitung der Rohdaten, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, ist nicht nur notwendig, um Auflösung und physikalische Größe der Sensordaten anzugleichen, sondern auch um eine konsistente Speicherung ermöglichen zu können. Die zentrale Datenhaltung soll der Aufzeichnung von Verbrauchsverläufen dienen. Die gespeicherten Daten können unter anderem zur

Abrechnung, zur Erstellung von Nutzungsprofilen auf Serviceproviderseite sowie zur vergleichenden Anzeige zweier Zeiträume (z.B. Vorjahresverbrauch) vom Bewohner selbst genutzt werden. Die anfallende Datenmenge soll nun abgeschätzt werden. Dabei wird angenommen, dass die Daten ungeordnet (ohne Indizierung, Sortierung etc.) gespeichert werden und lediglich aus einer Zeitvariablen, einer Geräteseriennummer und einem Verbrauchswert bestehen, bei jeweiliger Verwendung eines 32bit breiten Datentyps (long). Ausgehend von einer angenommenen stündlichen Übertragung der Verbrauchsdaten und einer Sensorenzahl von 100 Geräten für ein mittleres Mietshaus ergibt sich Abschätzung 3.1 für das Jahresaufkommen an abzuspeichernden Daten.

Zeitstempel 32bit	Seriennummer 32bit	Verbrauchswert 32bit
-------------------	--------------------	----------------------

Tabelle 3.2: Angenommenes Datenformat, Gesamtlänge: 12Byte

$$\begin{aligned}
 12 \frac{\text{Byte}}{h \cdot \text{Sensor}} \cdot 24 \frac{h}{d} &= 288 \frac{\text{Byte}}{d \cdot \text{Sensor}} \\
 288 \frac{\text{Byte}}{d \cdot \text{Sensor}} \cdot 100 \text{Sensor} &= 28800 \frac{\text{Byte}}{d} \\
 28800 \frac{\text{Byte}}{d} \cdot 365 \frac{d}{a} &= 10512000 \frac{\text{Byte}}{a} \tag{3.1}
 \end{aligned}$$

Die Abschätzung zeigt, dass bei obigen Annahmen jährlich eine Datenmenge von rund 10MB in einer solchen Liegenschaft entsteht. Solche Größenordnungen sind nur noch von Massenspeichern aufnehmbar und nicht mehr von schlanken, festplatten- und lüfterlosen „eingebetteten Systemen“ zu fassen. Die gespeicherte Datenmenge muss folglich verringert werden. Dies kann auf mehrere Arten geschehen. So kann eine verlustlose Datenkompression durchgeführt werden, die jedoch den Nachteil der schlechten Verfügbarkeit mit sich bringt, da die komprimierten Daten bei Anforderung erst wieder dekomprimiert werden müssen.

Im Gegensatz zur Datenkompression benötigt eine Datenreduktion wenig Aufwand an Rechenleistung und auch Speicherplatz. Der Nachteil ist ein Verlust an Auflösung. Die dargestellten Speicherprobleme und Lösungsansätze müssen bei der Konzeption der zentralen Einheit abgewogen und ein entsprechender Algorithmus entwickelt werden.

Datenhaltung

Die bei der Speicherung der Daten auftretenden Anforderungen wurden bislang nur in Bezug auf die Datenmenge betrachtet. Dabei spielt die Art der Speicherung eine nicht zu unterschätzende Rolle in der Konzeption des Energiemonitoringsystems. Zur geordneten Speicherung von Daten bieten sich mehrere Ansätze. Zum einen ist es möglich, Daten sequentiell auf einem nichtflüchtigen Massenspeichermedium (z.B. Flashmemory, Festplatte) abzulegen. Dies hat den Vorteil, dass lediglich geringe Ressourcen hardwareseitig zur Verfügung gestellt werden müssen. Reine Flashspeicherbedienung ist bereits mit niedrig getakteten 8bit Mikrokontrollern zu realisieren. Allerdings hat eine solche Form der Speicherung auch erhebliche Nachteile. So ist nicht nur kein wahlfreier Zugriff möglich, sondern es entstehen auch Lücken im sequentiellen Speicher bei Löschung oder Verschiebung einzelner Datensätze, die erst durch aufwändige Reorganisationsoperationen geschlossen werden können. Der Einsatz eines Datenbanksystems (siehe auch [MS98]) hingegen als Schicht zwischen dem Speichermedium bzw. Dateisystem der zentralen Einheit und der Anwendungssoftware vereinfacht Suchmechanismen, Verknüpfungsfunktionen und den direkten Zugriff auf Datensätze. Die Nachteile beim Einsatz einer Datenbank liegen in einem erhöhten Hardwareaufwand und der Notwendigkeit eines Betriebssystems, das den Betrieb einer Datenbankengine und der zugehörigen Zugriffsinterfaces (z.B ODBC, JDBC, etc.) unterstützt.

Wie deutlich geworden ist, sind die Anforderungen an die Datenhaltung nicht zu unterschätzen. Das zentrale Problem stellt hier die Auswahl der richtigen Strategie dar. Gegebenenfalls ist ein spezieller Algorithmus zur Kompression bzw. Reduktion erforderlich, um die gehaltene Datenmenge kontinuierlich zu verringern.

Abfragemöglichkeiten

Die zentrale Datenhaltung muss Möglichkeiten zur Abfrage von Daten anbieten. Dabei müssen die Daten nach verschiedenen Sortierungskriterien wie der Seriennummer des Gerätes, dem Erfassungszeitpunkt der Daten oder einer Kombination aus beidem bereitgestellt werden. Die Abfrage von Daten darf nur von berechtigten Personen bzw. Geräten erfolgen, wodurch ein Authentifizierungsmechanismus der Kommunikationsteilnehmer untereinander erforderlich wird.

3.3.5 Visualisierung

Eine der wichtigsten Komponenten für das Energiemonitoringsystem ist die Visualisierung, da diese die Schnittstelle zum Nutzer darstellt. Damit sind erhöhte Anforderungen an Bedienbarkeit, Übersichtlichkeit und Ergonomie gestellt.

Die wichtigste Anforderung an eine Visualisierung ist eine textuelle, besser grafische Darstellung der Verbrauchsdaten. Diese Anzeigen müssen in einer klar strukturierten Bedienoberfläche zusammengefasst werden, über die der Nutzer mit der Software interagieren kann.

Die technischen Anforderungen an eine solche Visualisierung unterscheiden sich jedoch sehr stark auf Grund der angestrebten Realisierung. Eine wichtige Frage bei der Konzeption einer solchen Einheit ist die einzusetzende Hardwareplattform. Auf Grund der verfügbaren Ressourcen bietet ein Personal Computer gute Möglichkeiten der Visualisierung. Grafische Darstellungen mit hoher Auflösung und verschiedenen Anzeigefarben stellen kein Problem dar. Zudem waren in Deutschland zur Jahresmitte 2001 bereits ca. 20 Millionen PCs am Internet angeschlossen, was eine sehr große Verbreitung der PC Technologie inklusive der Möglichkeit, Daten mit anderen Rechnern auszutauschen, darstellt. Nachteilig erscheint dagegen der hohe Stromverbrauch bei Dauerbetrieb, die hohen Investitionskosten, eine eventuell komplizierte Bedienung und mögliche Instabilitäten mit Systemabstürzen als Folge.

Eine Lösung, basierend auf eigener Hardware unter Verwendung von Mikrocontrollern und LC-Displays, bietet wegen der beschränkten Hardwareresourcen nur begrenzte Darstellungsmöglichkeiten, jedoch sind die Investitionskosten und der Stromverbrauch niedriger und die Bedienbarkeit verbessert sich durch die Spezialisierung des Gerätes (keine langwierige Phase des Systemstarts, keine zusätzlichen Programmaufrufe notwendig).

Die Größe und das Aussehen des Gerätes ist zudem ein wichtiger Faktor für eine spätere Akzeptanz des Systems durch den Nutzer. Eine weitere Anforderung an die Visualisierungseinheit ist die Manipulationssicherheit. Der Nutzer sowie unbefugte dritte Personen dürfen keinerlei ändernden Zugriff auf die Verbrauchsdaten erhalten, die zur späteren Abrechnung verwendet werden sollen. Dies bleibt lediglich dem Serviceprovider in einer administrativen Form vorbehalten und ist durch ein entsprechendes Datenfluss- und Sicherheitskonzept zu steuern.

Die Darstellungsmöglichkeiten sollen bei den beiden oben erwähnten Varianten der Visualisierung grundsätzlich Standardanzeigen enthalten. In Abbildung 3.4 ist eine solche Möglichkeit der Anzeige des Verbrauchsstands dargestellt. Dabei sollen die aktuellen Verbrauchsdaten nach Erfassungsorten bzw. Räumen geordnet mittels einer grafischen Aufbereitung übersichtlich

dargestellt werden.

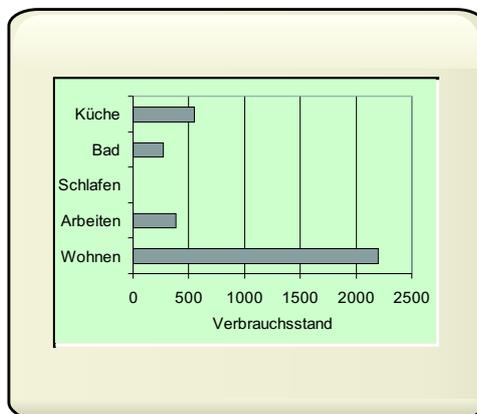


Abbildung 3.4: Mögliche Anzeige des aktuellen Verbrauchsstands

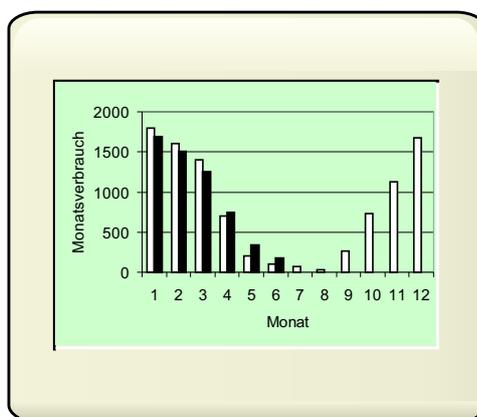


Abbildung 3.5: Mögliche Anzeige von Vorjahresverbrauchswerten

Eine weitere standardisierte Auswertung sollte einen Vergleich der aktuellen Werte mit einer Referenz bieten. So bietet eine Darstellung des momentanen Verbrauchsstands gegenüber dem Vorjahreswert bei nahezu gleichem Verbrauchszeitraum dem Nutzer eine direkte Vergleichsmöglichkeit. In Abbildung 3.5 wird eine solche Auswertungsmöglichkeit mit einer monatsweisen Zeitauflösung beispielhaft dargestellt.

3.4 Zusammenfassung

Wie in diesem Kapitel analysiert wurde, sind die Anforderungen an ein Energiemonitoringsystem zur Erfassung, Verarbeitung und Visualisierung von Energieverbrauchsdaten äußerst vielfältig und anspruchsvoll.

Die Palette der zu erfüllenden Aufgaben reicht dabei von der Konzeption der Systemstruktur, deren Ausführung einen entscheidenden Teil der Arbeit darstellt, über die Sensor- und Hardwareauswahl, die Planung und Implementierung der notwendigen Software der einzelnen Komponenten bis hin zu ergonomischen Aspekten der Anzeige und Bedienung des Systems durch den Nutzer.

Die angeführten Anforderungen sind mit verschiedenen Komponenten zwar durchaus erfüllbar, jedoch nur mit unterschiedlichem Gewicht der in den jeweiligen Systementwurf eingehenden Eigenschaften, wie beispielsweise Bedienkomfort, Anzeige und Funktionalität. Zudem ist es notwendig, ein strukturiertes Systemkonzept zu erstellen.

Kapitel 4

Systementwurf

Durch die physische und logische Verteilung der Komponenten des Energiemonitoringsystems wird eine große Gesamtkomplexität der Applikation erreicht. Die in Kapitel 3 beschriebenen Anforderungen an das System als solches und die einzelnen untergeordneten Sensor-, Kommunikations- und Aktor- bzw. Ausgabesysteme zeigen dies in ihrer Vielfalt und ihrer zum Teil erheblichen Einzelkomplexität. Die einfache Realisierbarkeit einer brauchbaren Anwendung zum Energiemonitoring hängt in hohem Maße von der Konzeption des Gesamtsystems, der klaren Definition von Aufgaben der einzelnen Komponenten sowie deren Schnittstellen zur gegenseitigen Kommunikation ab, weshalb im folgenden das Konzept und die jeweilige Begründung im Zuge der Verwirklichung des Energiemonitoringsystems vorgestellt wird. Dabei erfolgt zuerst eine Betrachtung des Gesamtsystems unter verschiedenen strukturellen Aspekten und anschließend die Spezifikation einzelner Komponenten sowie realisierungstechnischer Details.

4.1 Gesamtsystem

Das Gesamtsystem musste so konzipiert werden, dass eine modulare, flexible und robuste Lösung der Energieverbrauchsvisualisierung erzielt wird. Zusätzlich wurde bereits beim Entwurf eine hohe Messgenauigkeit der Sensorik sowie eine den Anforderungen entsprechende, zeitliche Auflösung des Systems angestrebt. Eine zudem kostengünstige Realisierung zu einem zukünftigen produktiven Einsatz wurde ebenso betrachtet, um die Chancen eines solchen Systems am Markt abwägen zu können. Aspekten wie Zuverlässigkeit und Einfachheit wurden besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Das Gesamtsystem wurde in mehrere Funktionsgruppen untergliedert, die unterschiedliche Aufgaben beim Energiemonitoring übernehmen und deren Bausteine die

Grundlage der im folgenden betrachteten Strukturen sind:

- Sensorik
- Visualisierungseinheiten
- Dezentraler Datenkonzentrator
- Zentraler Datenserver

Die in der Gruppe Sensorik zusammengefassten Komponenten erfassen die Verbräuche und können diese Daten über eine Schnittstelle an externe Kommunikationspartner übertragen.

Die Visualisierungseinheiten bilden die Schnittstelle zwischen System und Nutzer und sind für die Darstellung der Verbrauchsinformationen zuständig. Diese Darstellung kann sowohl textueller, als auch grafischer Natur sein.

Dezentrale Datenkonzentratoren sind in den Liegenschaften lokalisierte Einheiten, die die Schnittstelle zur Sensorik bilden und die Messdaten zwischenspeichern können.

Der zentrale Datenserver ist bei einem Serviceprovider lokalisiert und erlaubt die Speicherung, Auswertung, Aufbereitung und Weiterverarbeitung von Verbrauchsdaten.

4.1.1 Strukturelle Auswahl

Die Festlegung der Struktur des Gesamtsystems für das Energiemonitoring ist einer der wichtigsten konzeptionellen Faktoren. Drei verschiedene Systemstrukturen wurden für diese Arbeit aus der Fülle möglicher Ansätze ausgewählt. Die untersuchten Strukturen umfassen dabei die Lösung des Problems in Form eines hard- und softwarebasierten Einzelgerätes ohne zusätzliche externe Verbindungen, als ebensolches mit Verbindungen zu Feldbussystemen bzw. einer Liegenschaftszentrale und schließlich als eine internetbasierte Softwarelösung. Jede der betrachteten Strukturen besitzt bezüglich Einsetzbarkeit, Funktionalität und Zuverlässigkeit Vor- und Nachteile gegenüber den anderen.

Das strukturell einfachste System besteht aus der in Abbildung 4.1 dargestellten Lösung als Einzelgerät zur Visualisierung. Diese Struktur eignet sich vor allem für den Einsatz in einzelnen Wohnungen bzw. Häusern, bietet jedoch im Vergleich zu den beiden anderen Systemansätzen wenig Funktionalität.

Das gleiche Gerät mit externen Verbindungen zu Feldbussystemen und somit zu einer Liegenschaftszentrale (Abbildung 4.2) ermöglicht neben der Visualisierung der eigenen Verbrauchswerte Mehrwertdienste, wie Vergleiche und

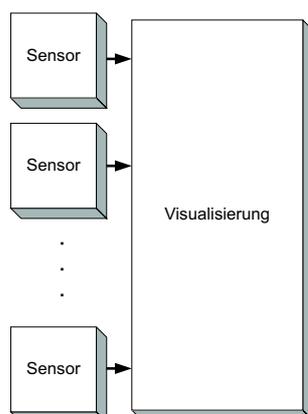


Abbildung 4.1: Systemstruktur mit einzelner, unabhängiger Visualisierung

Auswertungen über längere Zeiträume. Zudem ist eine liegenschaftszentrale Ablesung zu Abrechnungszwecken möglich. Dieser Ansatz eignet sich für kleine bis mittlere Liegenschaften, bietet eine große Funktionalität, jedoch wird der wirtschaftliche Einsatz durch die hohen Kosten der Liegenschaftszentrale eingeschränkt.

Der dritte, zentrale Ansatz zur Konzeption eines Energiemonitoringsystems (Abbildung 4.4) umfasst einen oder mehrere liegenschaftsweit verteilte Datenkonzentratoren, die ihre gesammelten Sensordaten an eine für alle an das System angeschlossenen Liegenschaften zentrale Instanz übermitteln (Abbildung 4.5). Die Visualisierungseinheit besteht in diesem Fall lediglich aus Software, die auf dem eigenen, heimischen PC des Nutzers läuft.

Diese Systemstruktur wurde ausgewählt, da die notwendigen Datenkonzentratoren wenig eigene Verarbeitung durchführen müssen und eine große Speicher- und Verarbeitungskapazität beim Serviceprovider selbst lokalisiert ist. Dieser Ansatz eignet sich somit auch für mittlere und große Liegenschaften und bietet neben großer Funktionalität auch eine hohe Flexibilität. Zudem können – bei entsprechender Skalierung – die Daten beliebig vieler Liegenschaften über die gleiche Zentrale erfasst werden.

Die drei entworfenen Strukturen wurden untersucht und entsprechende Prototypen entwickelt, realisiert und getestet. Sowohl als Einzelgeräte ohne externen Kommunikations- oder Busanschluss, als auch mit externem Anschluss an ein Feldbus- oder Netzwerksystem können die in den Kapiteln 4.2.3 und 4.2.4 vorgestellten Visualisierungseinheiten betrieben werden. Als Einzelgeräte mit externer Verbindung zu einer liegenschaftsweiten Zentrale (Kapitel 4.3.2) können Sensorwerte (z.B. Vorjahreswerte) aus der Zentrale rückübertragen werden. Die beiden zuerst genannten Lösungen bestehen besonders

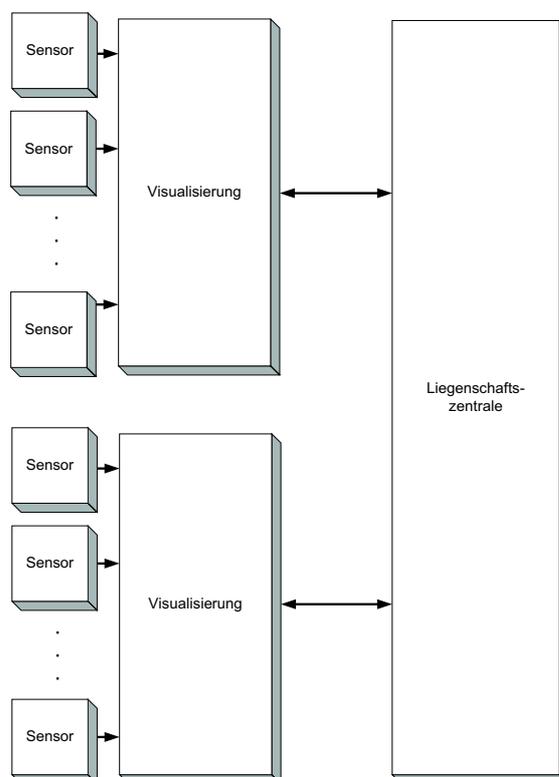


Abbildung 4.2: Vernetzte Visualisierungen und Liegenschaftszentrale

durch ihre Einfachheit und Robustheit. Zudem kann beim Einsatz von Feldbussen, besser speziellen Gebäudesystembussen wie Konnex bzw. EIB, bereits vorhandene Vernetzungsinfrastruktur zur Datenverteilung genutzt werden, wie in Abbildung 4.3 dargestellt. Die zentrale, serverbasierte Struktur eignet sich besonders bei Vorhandensein einer großen Nutzerzahl pro Datenkonzentrator, wie es bei Liegenschaften wie Mietshäusern der Fall ist. Zudem ist auf der Nutzerseite kein spezielles Zusatzgerät zur Visualisierung notwendig. Als Sensoren für das System kamen in allen drei betrachteten Fällen handelsübliche Geräte der Firma Viterra Energy Services zum Einsatz. Dabei wurden sowohl Heizkostenverteiler als auch Wärmehähler in die Untersuchung miteinbezogen. Beide Gerätegruppen verfügen über eine standardisierte Funkschnittstelle zur unidirektionalen Übermittlung der Sensordaten an Visualisierungseinheiten bzw. Datenkonzentratoren.

Die Verfügbarkeit eines Energiemonitoringsystems spielt neben der Genauigkeit der Anzeige beim Nutzer eine wichtige Rolle. Um die drei gewählten Lösungsansätze besonders auf diese Eigenschaften hin vergleichen zu können,

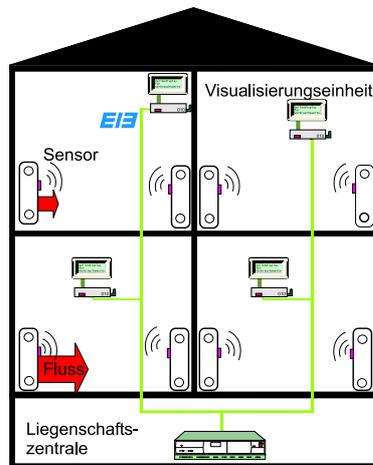


Abbildung 4.3: Vernetzte Visualisierungen über EIB

werden im folgenden zuerst theoretische Untersuchungen zur Systemverfügbarkeit angestellt.

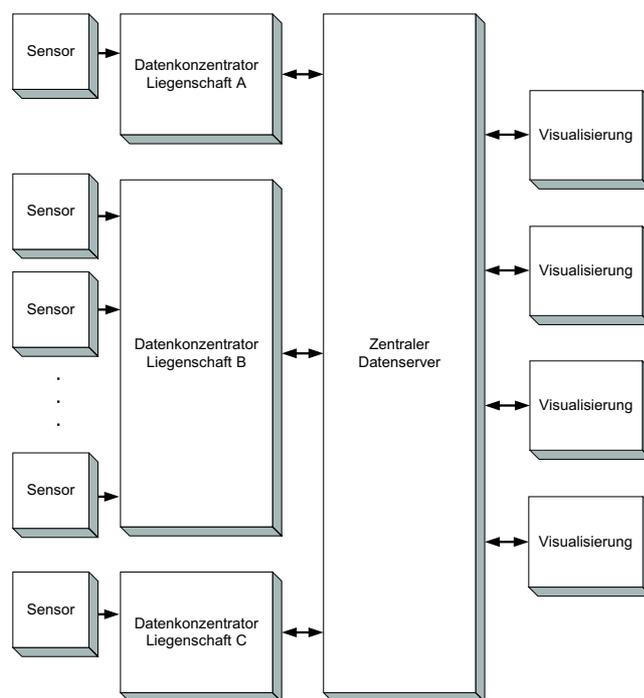


Abbildung 4.4: Internet-Visualisierung mit zentralem Server

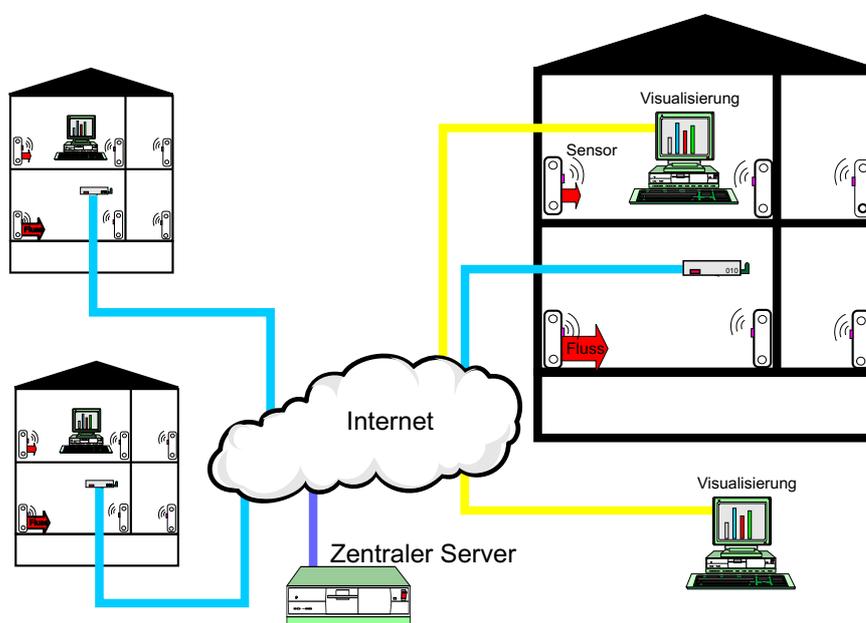


Abbildung 4.5: Internet-Energiemonitoring

4.1.2 Systemverfügbarkeit

Um die Verfügbarkeit des Energiemonitoringsystems zu beurteilen, werden zuerst Festlegungen zum Ausfall des Gesamtsystems und einzelner Teilsysteme getroffen. Zudem muss ein Systemausfall aus zweierlei Blickwinkeln, dem des Nutzers und dem des Serviceproviders, betrachtet werden.

Im folgenden werden die drei untersuchten Ansätze zur Systemstruktur (System mit einzelnen Visualisierungsgeräten, System mit vernetzten Visualisierungsgeräten und Liegenschaftszentrale, System mit Internetvisualisierung und zentralem Datenserver) jeweils im Hinblick auf die Verfügbarkeit des Systems aus der Sicht des Nutzers und des Serviceproviders untersucht. Die einzeln beschriebenen Systeme lassen sich als Serien-, Parallelsystem oder Mischform aus beidem ansehen (siehe auch [Sch84, 15–18]). Auf eine beispielhafte Zahlenrechnung wird im folgenden verzichtet, jedoch soll nicht unerwähnt bleiben, dass die betrachteten Verfügbarkeiten der Komponenten sehr hoch sein müssen (Richtwert: $V > 0,98$).

Ausdruck	Bedeutung bzw. Annahme
N_{Lieg}	Anzahl der Liegenschaften
N_{Lieg}	Anzahl der Datenkonzentratoren ($\Rightarrow 1 \frac{\text{Datenkonzentrator}}{\text{Liegenschaft}}$)
N_{LV}	Anzahl der Visualisierungseinheiten pro Liegenschaft
N_{Vis}	Anzahl der Visualisierungseinheiten
V_{Netz}	Verfügbarkeit der Vernetzungskomponenten
V_{Vis}	Verfügbarkeit einer Visualisierungseinheit
V_{DK}	Verfügbarkeit eines Datenkonzentratoren
V_{Server}	Verfügbarkeit des zentralen Datenservers
$V_{Nutzer\ n}$	Verfügbarkeit der n-ten Struktur aus Nutzersicht
$V_{Provider\ n}$	Verfügbarkeit der n-ten Struktur aus Providersicht
$V_{Liegenschaft}$	Verfügbarkeit einer Liegenschaft in Struktur 3
–	Es werden nur Einzelausfälle betrachtet
–	Keine Redundanz bei den Systemkomponenten
V	Visualisierungseinheit
N	Vernetzung
D	Datenkonzentrator
S	Datenserver

Tabelle 4.1: Bezeichnungen und Annahmen zur Verfügbarkeitsuntersuchung

Mit den in Tabelle 4.1 getroffenen Voraussetzungen und Annahmen ergibt sich die Anzahl der Visualisierungseinheiten durch Multiplikation der Liegen-

schaftsanzahl mit der Zahl der Visualisierungseinheiten in einer Liegenschaft (Gleichung 4.1).

$$N_{Vis} = N_{Lieg} \cdot N_{LV} \quad (4.1)$$

System mit einzelnen Visualisierungsgeräten

Bei der Betrachtung eines Systems, bestehend aus mehreren Liegenschaften mit jeweils mehreren Nutzeinheiten (Wohnungen) hat die Abgrenzung bezüglich der Liegenschaften keinerlei Bedeutung. Bei den Komponenten handelt es sich um eigenständige, unabhängige Visualisierungseinheiten, deren Ausfall nicht die Funktion der anderen Geräte beeinträchtigt. Der Ausfall einer einzelnen Visualisierungseinheit bedeutet aus der Sicht des Nutzers somit einen Totalausfall des Systems, die Verfügbarkeit der einzelnen Einheit ändert sich nicht (Abbildung 4.6 und Gleichung 4.2). Aus der Sicht des Providers besteht in diesem Fall das „Gesamtsystem“ aus N_{Vis} Einzelsystemen (Abbildung 4.7). Damit bedeutet der gleiche Ausfall lediglich einen Teilausfall des Gesamtsystems der Größe $\frac{1}{N_{Vis}}$, die Verfügbarkeit des Gesamtsystems (bezogen auf einen Totalausfall) ist damit laut Gleichung 4.3 gegeben. Bei einer hohen Zahl von Visualisierungseinheiten wird die Verfügbarkeit des betrachteten Gesamtsystems sehr hoch, ungefähr 1. Wegen ihrer Unabhängigkeit wird die Verfügbarkeit der nicht ausgefallenen Einheiten durch den beschriebenen Ausfall nicht beeinflusst. Damit ist von einem Einzelausfall primär nur der Nutzer betroffen, für den Provider entsteht lediglich ein Servicefall.

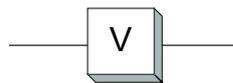


Abbildung 4.6: Einzelne Visualisierung aus Nutzersicht

$$V_{Nutzer1} = V_{Vis} \quad (4.2)$$

$$V_{Provider1} = 1 - (1 - V_{Vis})^{N_{Vis}} \approx 1 \quad (4.3)$$

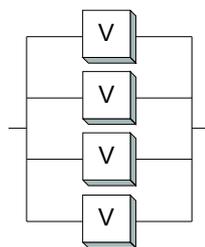


Abbildung 4.7: Einzelne Visualisierungen aus Providersicht

System mit vernetzten Visualisierungsgeräten und Liegenschaftszentrale

Bei der Betrachtung der Systemstruktur mit vernetzten Visualisierungseinheiten muss nun die Verfügbarkeit der Vernetzungskomponenten miteinbezogen werden. Bei einem Ausfall einer Visualisierungseinheit bietet sich für den Nutzer und auch für den Provider bezüglich der Verfügbarkeit die gleiche Situation wie bei vollkommen unabhängigen Visualisierungseinheiten (Abbildungen 4.6 und 4.7). Der Ausfall eines der N_{Lieg} liegenschaftszentralen Datenkonzentratoren verursacht einen „Common-Mode“-Fehler bei den angeschlossenen N_{LV} Visualisierungseinheiten, die zumindest teilweise ausfallen, da erweiterte Funktionen, die von der Zentrale bereitgestellt werden, nicht mehr verfügbar sind. Vereinfachend kann das System aus Nutzersicht als Serienschaltung dreier Systeme, nämlich der Visualisierungseinheit, dem verbindenden Netz und dem Datenkonzentrator betrachtet werden. Die Verfügbarkeit für diese Serienschaltung (Abbildung 4.8) ist in Gleichung 4.4 angegeben.

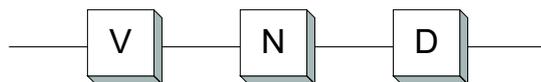


Abbildung 4.8: Vernetzte Visualisierungen aus Nutzersicht

$$V_{Nutzer2} = V_{Vis} \cdot V_{Netz} \cdot V_{DK} \quad (4.4)$$

Für den Provider bedeutet der Ausfall eines Datenkonzentrators den Ausfall von $\frac{1}{N_{Vis}}$ aller Liegenschaftszentralen und damit auch von $\frac{N_{LV}}{N_{Vis}} = \frac{1}{N_{Lieg}}$ aller Visualisierungseinheiten. Die Verfügbarkeit eines Liegenschaftssystems ist in Gleichung 4.5 dargestellt. Auf Grund der gemeinsamen Nutzung der einfach

vorhandenen Vernetzung in Form einer Bus-Infrastruktur durch die Visualisierungseinheiten fließt diese hier nur einmal in die Verfügbarkeit mit ein. Bei Betrachtung eines „Gesamtsystems“ (Abbildung 4.9), bestehend aus den N_{Lieg} unabhängigen Liegenschaftssystemen, erhält der Provider dafür die in Gleichung 4.6 angegebene Verfügbarkeit.

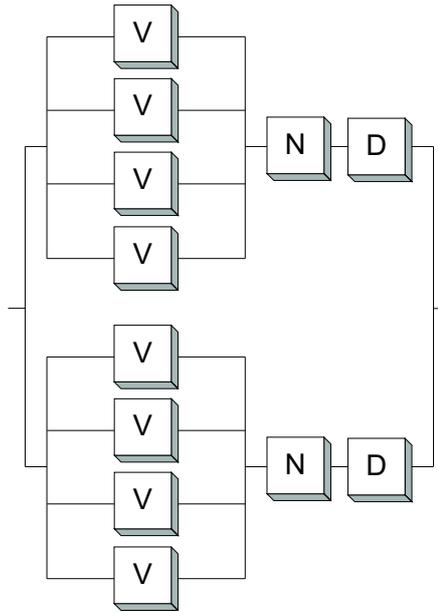


Abbildung 4.9: Vernetzte Visualisierungen aus Providersicht

$$V_{Liegenschaft} = [1 - (1 - V_{Vis})^{N_{LV}}] \cdot V_{Netz} \cdot V_{DK} \quad (4.5)$$

$$V_{Provider2} = 1 - (1 - V_{Liegenschaft})^{N_{Lieg}} \quad (4.6)$$

System mit Internetvisualisierung und zentralem Datenserver

Bei diesem Systemansatz zur Konzeption des Energiemonitoringsystems werden alle für die Funktion des Gesamtsystems wichtigen Komponenten in wenigen logischen Einheiten konzentriert, den Serverkomponenten. Im folgenden soll angenommen werden, dass diese Komponenten innerhalb einer einzelnen physikalischen Komponente lokalisiert sind.

Ein Ausfall eines Datenkonzentrators zieht aus Nutzersicht einen Teilausfall des Visualisierungssystems nach sich, da die aktuellen Verbrauchsdaten

nicht mehr verfügbar sind. Die Verfügbarkeit des Datenkonzentrators unter Berücksichtigung seiner Netzwerkverbindung ist in Gleichung 4.7 angegeben. Dabei sind der jeweilige Datenkonzentrator und die Netzwerkverbindung in Serie angeordnet, da Datenkonzentratoren verschiedener Liegenschaften auch unterschiedliche Internetzugänge nutzen können. Die Visualisierung erfährt aus Nutzersicht einen Totalausfall, wenn der zentrale Datenserver bzw. dessen Netzwerkverbindung ausfällt, was die in Gleichung 4.8 angegebene Verfügbarkeit dieser Komponentenkombination nach sich zieht. Auf Grund der Unabhängigkeit der Ausfallwahrscheinlichkeiten der beiden Subsysteme entspricht die Verfügbarkeit des gesamten Systems aus Sicht des Nutzers (Abbildung 4.10) der in Gleichung 4.9 aufgeführten.

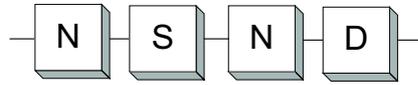


Abbildung 4.10: Internet-Visualisierung aus Nutzersicht

$$V_{DK,Netz} = V_{DK} \cdot V_{Netz} \quad (4.7)$$

$$V_{Server,Netz} = V_{Server} \cdot V_{Netz} \quad (4.8)$$

$$V_{Nutzer3} = V_{DK,Netz} \cdot V_{Server,Netz} = V_{DK} \cdot V_{Server} \cdot V_{Netz}^2 \quad (4.9)$$

Aus Sicht des Serviceproviders bedeutet der Ausfall eines einzelnen Datenkonzentrators den Ausfall von $\frac{1}{N_{Lieg}}$ aller Datenkonzentratoren und einen zusätzlichen Teilausfall von $\frac{N_{LV}}{N_{Vis}} = \frac{1}{N_{Lieg}}$ der Visualisierungen, da keine neuen Sensorwerte mehr angezeigt werden können.

$$V_{Provider3} = [1 - (1 - V_{DK,Netz})^{N_{Lieg}}] \cdot V_{Server} \quad (4.10)$$

Da keine Redundanz der Serverkomponenten angenommen wurde, führt der Ausfall des zentralen Servers für den Provider zum Totalausfall des gesamten Systems. Die zustandekommende Verfügbarkeit des Gesamtsystems aus Providersicht (Abbildung 4.11) des serverbasierten Ansatzes ist in Gleichung 4.10 dargestellt.

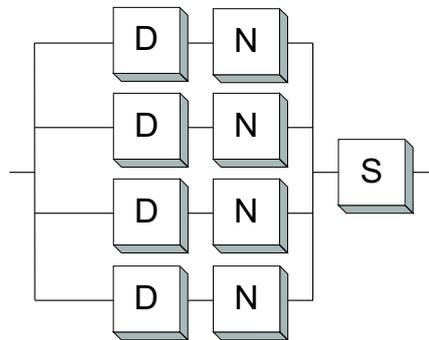


Abbildung 4.11: Internet-Visualisierung aus Providersicht

Fazit

Die angestellten Betrachtungen zur Systemverfügbarkeit der drei verschiedenen strukturellen Ansätze lassen sich damit auf die folgenden Ergebnisse zusammenfassen. Der erste Ansatz, bestehend aus einer Vielzahl von Einzelsystemen mit niedriger Funktionalität, stellt aus Providersicht ein System hoher Verfügbarkeit dar, doch die Betrachtung der einzelnen Systeme als ein gesamtes hinkt hier. Die zweite Struktur unterscheidet sich davon in der höheren Funktionalität durch die Verarbeitung in der Liegenschaftszentrale. Jedoch erhöht sich durch die zusätzliche Komponente sowie die notwendige Feldbusvernetzung die Ausfallwahrscheinlichkeit des Gesamtsystems. Die dritte Variante bietet die höchste Funktionalität, beinhaltet jedoch ebenso wie die zweite Variante den Teilausfall einer Liegenschaft. Der Ausfall des zentralen Servers hat zudem den Ausfall des gesamten Systems zur Folge. Die zentrale Komponente und die notwendigen Netzwerkverbindungen werden damit zu kritischen Punkten im System, denen bei der Konzeption besondere Aufmerksamkeit bezüglich der Erhöhung der Verfügbarkeit (Abhängigkeit siehe Gleichung 4.10) und Sicherung des Betriebs gewidmet werden muss. Dies kann durch Verwendung hochwertiger Komponenten, Modularisierung der Serverkomponenten und Einführung von Redundanz der einzelnen Hardware-Softwarekomponenten erreicht werden.

Um eine der bezüglich ihrer Verfügbarkeit untersuchten Systemstrukturen für eine Realisierung favorisieren zu können, ist es zusätzlich notwendig, die vom System für Nutzer und Provider gebotene Funktionalität zu betrachten sowie die Gestehungs- und Betriebskosten des jeweiligen Ansatzes zu berücksichtigen.

4.2 Anwendungsmodule Hardware

Die verschiedenen, zum jeweils untersuchten Ansatz des Energiemonitoringsystems gehörigen Einheiten verfügen mit Ausnahme der handelsüblichen Sensorik und der reinen Softwarekomponenten über speziell für den jeweiligen Anwendungszweck konzipierte und realisierte Hardware. Die Anwendungsmodule wurden in die verschiedenen Gruppen Sensorik, Visualisierungseinheiten, dezentrale Datenkonzentratoren und zentraler Datenserver unterteilt. Die detaillierte Entwicklung und der genaue Aufbau der einzelnen Komponenten soll nun in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

4.2.1 Sensorik für Heizenergie

Die Erfassung des Heizenergieverbrauchs wird durch elektronische Heizkostenverteiler oder Wärmezähler ermöglicht. Um die in Kapitel 3.3.1 getroffenen Anforderungen an die Messeinrichtungen möglichst gut erfüllen und doch auf ein marktgängiges Produkt zurückgreifen zu können, wurden die Geräte der Firma Viterra Energy Services AG ausgewählt, die in dieser Arbeit als abgeschlossene, kalibrierte Sensorsysteme betrachtet werden. Weder die Heizkostenverteiler vom Typ „Doprino“, noch die Wärmezähler vom Typ „Sensonic“ benötigen eine externe Stromversorgung, da die für das Sensorsystem notwendige Energie von einer langlebigen Lithiumbatterie bereitgestellt wird. Beide Geräte verfügen über zwei Temperaturfühler und bieten neben einer bidirektionalen Programmier- und Ausleseschnittstelle, deren Datenübertragung auf Infrarotlicht basiert, auch eine unidirektionale Funkschnittstelle. Dieser Kommunikationskanal benutzt das 433MHz ISM Band. Ein zugehöriges HF-Empfangsmodul (Abbildung 4.12), Typ „ATEM-Empfänger“ mit integrierter Datenseparation und seriellem Ausgang mit TTL-Pegel, wurde für die Empfängerseite des Energiemonitoringsystems verwendet. Beide Messeinrichtungen arbeiten konform zum „ATEM-Standard“ zur „Automatischen Teletransmission von Zählerständen Elektronischer Messgeräte“, der 1996 von einem Firmenkonsortium bestehend aus der Deutschen Telekom, Spanner-Pollux, Hydrometer, Aquametro, Techem und Ista beschrieben und vereinbart wurde.

Die von der Messeinrichtung initiierte Übertragung der ATEM-Telegramme lässt sich im Gerät durch spezielle Softwaremodifikationen über die Infrarotschnittstelle konfigurieren. Die Sendezyklen sind dabei in mehreren Schritten von täglichen bis zu stündlichen Übertragungen einstellbar. Die stündliche Datenübermittlung wird dabei für das Energiemonitoring genutzt, um die in Kapitel 3.3.1 getroffenen Anforderungen erfüllen zu können. Die Geräte sind vom Gesetzgeber nach DIN EN 834 [DIN94] zugelassen und weisen

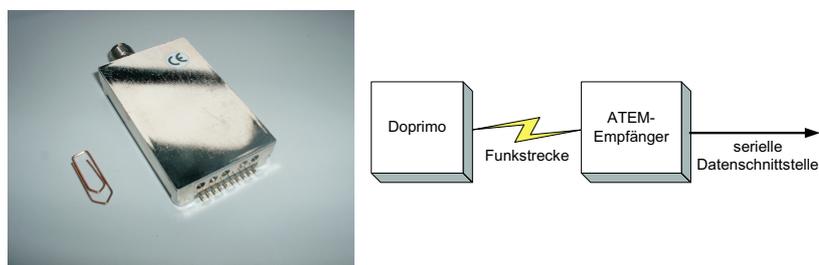


Abbildung 4.12: Empfängermodul des ATEM-Standards

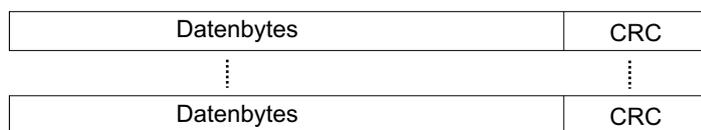
eine für das Energiemonitoring und auch für Abrechnungszwecke mehr als ausreichende Temperaturauflösung von $\leq 0,2K$ auf.

Die Telegramme des ATEM-Standards setzen sich aus verschiedenen Blöcken, nämlich Vorspann, Daten und Abspann, zusammen (Abbildung 4.13). Eine Fehlererkennung über eine CRC-Prüfsumme von zwei Byte Länge ist dabei für alle Datenblöcke spezifiziert. Ein ATEM-Telegramm enthält neben den allgemeinen Informationen über das sendende Gerät, wie Seriennummer, Hersteller, Fertigungsort, Verschlüsselungsart etc., auch gerätespezifische Blöcke, die den Zählerstand eines Heizkostenverteilers oder die gezahlte Energie in kWh eines Wärmezählers enthalten. Zusätzlich werden ein Stichtagswert, der Zählerstand des Vormonats und die aktuelle Zeit und das Datum in codierter Form übertragen.

Telegrammvorspann:



Datenblöcke:



Telegrammabspann:



Abbildung 4.13: Prinzipieller Aufbau eines ATEM-Telegramms

Die Erfassung des Heizwärmeverbrauchs mit einem Heizkostenverteiler unterscheidet sich dabei von der mit einem Wärmezähler in der Form der gelieferten Daten, da lediglich Zählwerte, deren Fortschritt von der Konfiguration

des Gerätes abhängen, übermittelt werden. Die wichtigsten Parameter sind dabei die Normwärmeleistung P_n des Heizkörpers, der Ankopplungsfaktor K_C des Heizkostenverteilers an den Heizkörper und der Wärmeübergangskoeffizient K_Q des Mediums. Diese konstanten Konfigurationsparameter müssen bei der Installation des Heizkostenverteilers über dessen Infrarot-Schnittstelle abhängig vom jeweiligen Heizkörpertyp einprogrammiert werden.



Abbildung 4.14: Handprogrammiergerät der Viterra Energy Services AG

Dazu wird ein Handprogrammiergerät (Abbildung 4.14) oder ein Optokopf zum Anschluss an einen PC genutzt. Über einen Optokopf in Kombination mit einer speziellen PC-Software können alle Betriebsparameter des Erfassungsgerätes manipuliert werden. Abbildung 4.15 zeigt den zum Einsatz

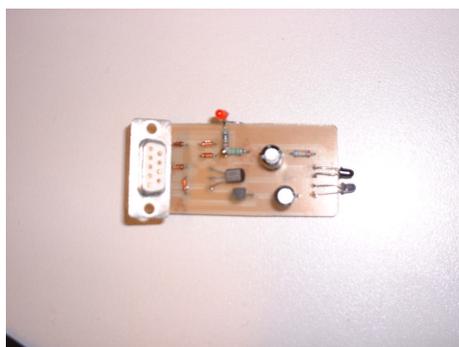


Abbildung 4.15: Optokopf für die Programmierung der Sensorik

im Labor konzipierten Optokopf, mit dem spezielle Programmierungen der Heizkostenverteiler wie die maximale Erhöhung der Sendehäufigkeit und die Änderung der Verschlüsselung durchgeführt wurden, die mit den herkömmlichen Handprogrammiergeräten nicht durchführbar waren.

4.2.2 Anbindung von Standardzählern

Die Anbindung von Standardzählern für die Erfassung des Strom-, Gas- und Wasserverbrauchs an das Energiemonitoringsystem wurde primär durch eine einfache Schnittstelle zur Auswertung von Impulsausgängen realisiert, da nicht nur mechanische Zähler, sondern auch die meisten elektronischen Zähler eine solche Anschlussmöglichkeit besitzen. Die Erfassung der verschiedenen Impulse wurde jedoch innovativ gelöst. Statt jeden Impulsausgang der Zähler einzeln und über evtl. weite Strecken mit einer Auswerte- und Vorverarbeitungseinheit zu verkabeln, wurde zur Vernetzung der einzelnen Datenpunkte ein Bussystem eingesetzt. Da besondere Anforderungen an die Kompaktheit und den elektronischen Aufwand der Sensoraufnehmer mit Busanschluss gestellt werden, fiel die Wahl auf ein verteiltes Messsystem unter Verwendung des 1-Wire Bussystems der Firma Dallas Semiconductor/Maxim (siehe auch [Dal95]). Die Teilnehmer am 1-Wire Bus werden mittels einer parasitären Stromversorgung vom Bus versorgt, die meisten für den Bus spezifizierten Komponenten verfügen jedoch auch über einen zusätzlichen Versorgungsanschluss, um die Belastung der Busleitung bei einer hohen Teilnehmeranzahl zu reduzieren. 1-Wire ist ein Master-Slave-System, d.h. die Kommunikation geht immer vom Busmaster aus. Jeder Datenknoten besitzt eine eindeutige 64bit breite, digitale Identifikation, die eine Seriennummer von 48bit, einen *Family Code* von 8bit und eine Checksumme von 8bit Länge enthält. Das zur Kommunikation zwischen Busmaster und den Slaves verwendete Protokoll ist prinzipiell in Abbildung 4.16 dargestellt und in [Dal99a, 4–22] beschrieben. Die Kommunikation beginnt immer mit einem *Reset Pulse* des Busmasters, auf den alle angeschlossenen Slaves mit einem *Presence Pulse* antworten. Wenn der Host einen bestimmten Slave ansprechen möchte, übermittelt er zuerst ein *Match ROM* Kommando gefolgt von der Seriennummer des Slaves. Der gewählte Slave wartet nun auf ein spezifisches Kommando. Dies kann beispielsweise ein *Write Memory* Kommando sein, um Daten in den Speicher eines Slaves zu schreiben. Nach Übermittlung des Schreibbefehls samt zugehöriger Adresse und dem Datenbyte antwortet der angesprochene Slave mit einem CRC-Wert, gebildet über das Kommando, die Adresse und das Datenbyte, und wiederholt das übermittelte Datenbyte selbst. Lesekommandos arbeiten nach einem ähnlichen Verfahren.

Zur Ankopplung eines Standardzählers wurde ein sehr kompaktes Busmodul mit Anschlussmöglichkeiten für zwei Impulszähler prototypisch im Labor realisiert (Abbildung 4.17). Auf dem Modul findet dabei der Zählerbaustein DS2423 (siehe auch [Dal99a]) von Dallas Semiconductor mit direktem 1-Wire Anschluss und vier integrierten Zählern Verwendung. Die Stromversorgung des gesamten Impulsmoduls erfolgt über den 1-Wire Bus.

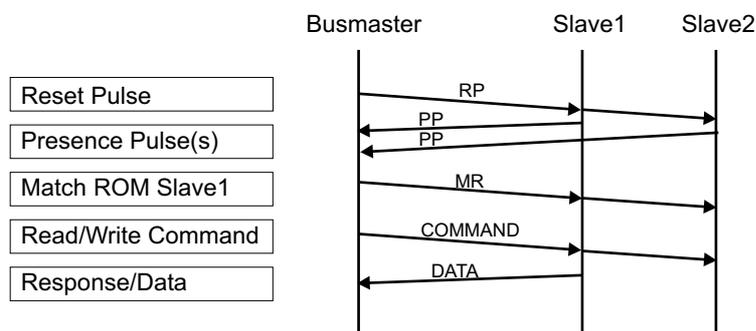


Abbildung 4.16: Nachrichtenablauf auf dem 1-Wire Bus

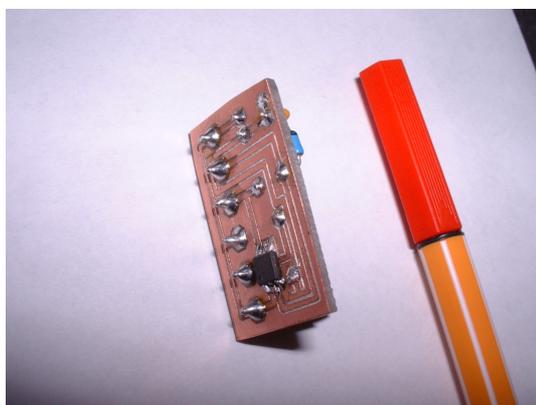


Abbildung 4.17: 1-Wire Busmoduls zur Impulszähleranbindung

Durch die einfache Vernetzung der Impulsmodule über eine verdrehte Zweidrahtleitung („Twisted Pair“) kann eine Erfassung der Verbrauchsdaten von Wasser-, Strom- und Gaszählern mit Impulsschnittstelle erfolgen. Da das 1-Wire Bussystem lediglich im Master-Slave-Betrieb arbeitet, ist ein übergeordneter Datenknoten im 1-Wire Netzwerk notwendig, der die Kommunikation initiiert, Busteilnehmer wie iButtons oder die im Impulsmodul verwendeten Zählerbausteine identifiziert und Schreib-Lesevorgänge auf die untergeordneten Busteilnehmer durchführt. Der Master eines solchen „Micro-LANs“ [Dal95] kann dabei durch ein beliebiges embedded System repräsentiert werden, das über eine serielle Schnittstelle verfügt. Diese Schnittstelle muss mittels eines speziellen Transceiverbausteins adaptiert werden, um die physikalischen Vorgaben des 1-Wire Netzes erfüllen zu können. Zur Entwicklung im Labor wurden die Transceiverbausteine DS2480, sowie fertige Module von Dallas Semiconductor zur Ankopplung an Personal Computer

verwendet. Die Anbindung an die in den Kapiteln 4.2.4 und 4.2.5 erwähnten TINI-boards ist vollkommen problemlos und wurde auch prototypisch realisiert, da dieses embedded System die hardwareseitige Ankopplung des 1-Wire Busses im Auslieferungszustand bereits erfüllt. Die Anbindung von elektronischen Zählern mit M-Bus Schnittstelle an das Energiemonitoringsystem wurde ebenfalls untersucht und die entsprechenden Schnittstellen an den Modulen konzeptionell vorgesehen. So ist es beispielsweise möglich, den von Texas Instruments entwickelten Transceiver Chip „TSS721“ ([M-B98]) anzukoppeln, der eine Hostanbindung M-Bus fähiger Geräte über die serielle Schnittstelle ermöglicht. Die höheren Schichten des M-Bus Protokolls wurden jedoch nicht in das System integriert, da diese Zähler bislang im privaten Bereich wenig Verbreitung finden.

4.2.3 Grafische Visualisierungseinheit

Die grafische Visualisierungsapplikation dient zum Sensordatenempfang, zur Darstellung von Verbrauchsinformationen und ist optional zur Anbindung über den Europäischen Installationsbus (EIB) an einen liegenschaftszentralen Datenkonzentrator geeignet. Die Möglichkeit, das Gerät auch ohne weitere Vernetzung zu betreiben wurde aus Gründen der Praktikabilität bei Entwicklungen im Labor beibehalten. Die Anwendung selbst besteht aus einer Basisplatine, einem ATEM-Funkempfänger zur Erfassung der Sensordaten und einem Display mit berührungsempfindlicher Oberfläche zur Anzeige und Erfassung von Benutzereingaben. Das grafische Visualisierungssystem erlaubt eine Ausstattung der Räume mit jeweils bis zu fünf Heizkostenverteilern (HKV) bei Verwaltung von maximal zwölf Räumen. Nachfolgend wird der hardwaretechnische Aufbau und die Realisierung der grafischen Visualisierungseinheit, aufgeteilt nach den einzelnen Bausteinen dargestellt.

Einführung und Funktionsweise

Die von den Sensoren ermittelten Zählerstände werden durch die Heizkostenverteiler bzw. Wärmezähler zusammen mit weiteren Daten in bestimmten zeitlichen Abständen (z.B. jede Stunde) in einem Funktelegramm an den ATEM-Empfänger übermittelt, welcher die Daten über eine serielle RS-232-Schnittstelle an die Basisplatine weitergibt. Dort werden die Sensordaten verarbeitet, umgewandelt (z.B. Nachbewertung, kumulierter Heizenergieverbrauch mehrerer Sensoren, etc.) und über das EIB-System an einen angeschlossenen Datenkonzentrator weitergeleitet. Der erste Laborprototyp (Abbildung A.1) wurde auf einer Punktrasterplatine realisiert und die Komponenten LC-Display und ATEM-Empfänger separat über Kabelverbindungen

an die Basisplatine angebunden.

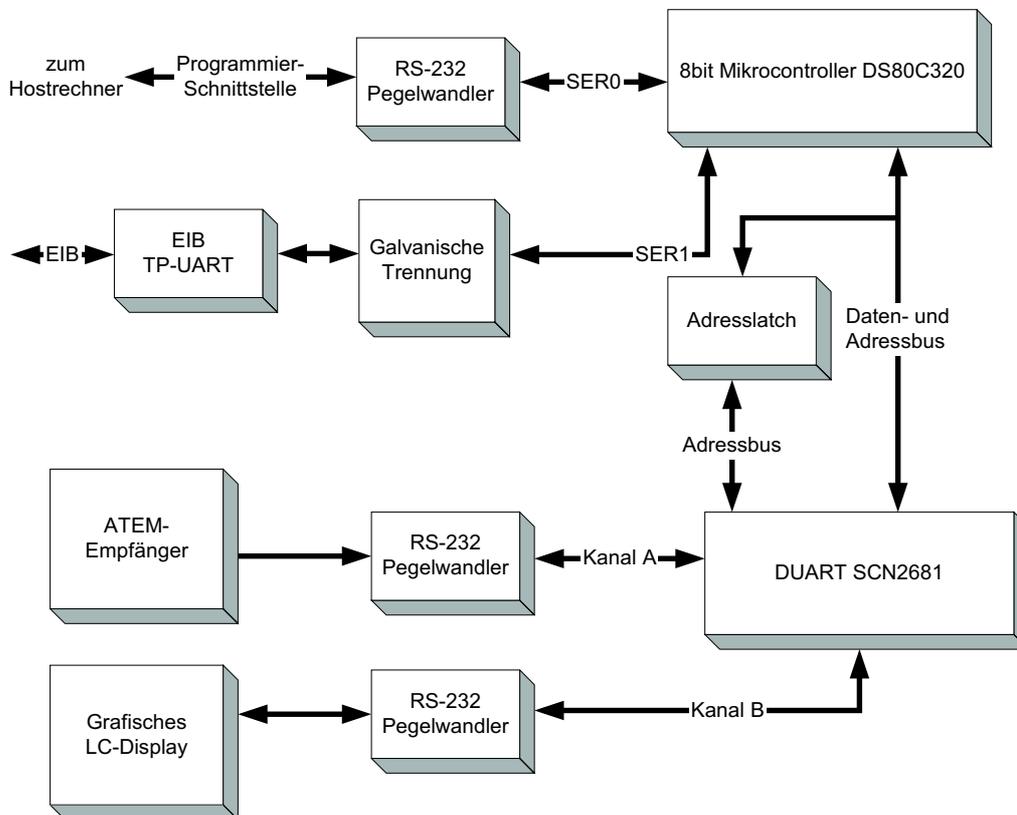


Abbildung 4.18: Blockschaltbild der grafischen Visualisierung

Auf der Basisplatine, deren Blockschaltbild in Abbildung 4.18 dargestellt ist, wird die Kommunikation zwischen den einzelnen externen Peripheriebausteinen, wie dem funkbasierten Sensordatenempfänger, der EIB-Schnittstelle und dem Touchdisplay aber auch dem Entwicklungsrechner verwaltet und die anfallenden Daten verarbeitet. Diese Hardwareeinheit wurde bestückt mit einem 8-bit Mikrocontroller der 8051 Familie in Form eines Rapid-Prototyping Moduls der Firma Phytex ([Phy96]). Zur Ansteuerung von zwei zusätzlichen seriellen Schnittstellen wurde ein DUART (Dual Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) der Firma Philips eingesetzt. Zwei der vier seriellen RS-232 Schnittstellen werden direkt vom Mikrocontroller verwaltet, während die beiden anderen vom Schnittstellen-Baustein DUART kontrolliert werden. Direkt auf der Basisplatine ist zudem die EIB-Schnittstelle platziert. Diese wurde in einem ersten Entwicklungsschritt in Form eines EIB Buskopplers (BCU) zum Geräteeinbau (Abbildung 4.19) ausgeführt und durch einen spe-

ziellen Mikrocontrollertreiber angesprochen, jedoch später auf den zwar weniger mächtigen, doch wesentlich kleineren, kostengünstigeren und einfacher zu bedienenden TP-UART (Abbildung 4.19) umgestellt.



Abbildung 4.19: Buskoppler zum Geräteeinbau und TP-UART Chip

Die Unterschiede der beiden Varianten liegen in den fehlenden ISO/OSI-Layern (Abbildung 3.1) der EIB Kommunikation. Der TP-UART unterstützt lediglich die untersten beiden Schichten des EIB-Protokolls, die physikalische (physical layer) und die Verbindungsebene (link layer). Da auf Grund von Einschränkungen bei der Speicherbelegung innerhalb eines Buskopplers die Zuordnung und Verwaltung einer größeren Anzahl von Gruppenadressen (ca. > 20 Adressen) nicht möglich ist, wird die Kommunikation zwischen Mikrocontroller und Buskoppler auf der Verbindungsschicht etabliert und höhere Schichten im Mikrocontroller selbst implementiert. Die von einer BCU bereitgestellte Funktionalität bietet demzufolge in der Visualisierungseinheit keinen Vorteil gegenüber einem TP-UART. Der TP-UART wurde schließlich zusammen mit zusätzlich notwendigen Optokopplern zur galvanischen Trennung des Busses auf der neu entworfenen Prototypenplatine fest integriert. Die beiden zusätzlich verfügbaren Schnittstellen des DUART werden zur Ansteuerung des LC-Displays (Kanal B des DUART) und des ATEM-Empfängers (Kanal A des DUART) genutzt, während die verbleibende freie serielle Schnittstelle des Mikrocontrollermoduls für Entwicklungszwecke wie Debugging und Download des Applikationsprogramms in den Flashspeicher des Controllermoduls reserviert ist. Die Programmierung erfolgt dabei über einen externen Host-Rechner, der die integrierte Entwicklungsumgebung des Mikrocontrollers beherbergt.

Die ATEM-Funkempfänger erhalten Funktelegramme von den bereits erwähnten Doprimo Heizkostenverteilern, die die Zählerstände halten. Zu den zusätzlich vorhandenen Daten gehört unter anderem auch die Seriennum-

mer des jeweiligen Sensors, um eine Identifizierung und Zuordnung des Telegramms zu ermöglichen. Dies wird in Verknüpfungstabellen der Software bewerkstelligt, die über das Konfigurationsmenü eingestellt werden können. Die optionale EIB-Schnittstelle stellt eine Busverbindung zwischen den in der Liegenschaft installierten Visualisierungseinheiten und dem liegenschaftszentralen Datenkonzentrator her. Zur Übertragung der Verbrauchsdaten über den EIB wird der buskonforme EIS Type 10, 16-bit Counter-Value (Tabelle 3.1) verwendet.

Über die zweite RS-232-Schnittstelle des DUART wird das vollgrafische LC-Display angesteuert. Nachdem das Display einen berührungempfindliche Anzeige (Touchscreen) besitzt, wird ein Rückkanal zum Modul benötigt, was die bidirektionale Ausführung der Schnittstelle auf der Softwareseite bedingt. Um keinen Datenverlust auf Grund von Pufferüberläufen im Display zu erleiden, wurde zusätzlich ein Hardware-Handshake nach dem RTS/CTS-Verfahren implementiert.

Grafische Anzeige

Für die grafische Visualisierungseinheit wurde ein hinterleuchtetes LC-Display der Firma Electronic Assembly ausgewählt. Die Anzeige vom Typ „EA-KIT 160-6LEDTP“ dient zur Ausgabe der darzustellenden Daten und erlaubt in Zusammenhang mit dem integrierten berührungssensitiven Touchscreen eine interaktive Bedienung der Applikation ohne Verwendung einer zusätzlichen externen Peripherie, wie zum Beispiel einer Tastatur. In Abbildung 4.20 ist der Aufbau des Moduls dargestellt.



Abbildung 4.20: Grafisches LC-Display mit Touchscreen, Quelle: Electronic Assembly

Das Display benötigt lediglich eine einzelne Versorgungsspannung von +5V, besitzt eine LED-basierte Hintergrundbeleuchtung und bietet eine Auflösung

von 160x80 Bildpunkten. Auf dem eigentlichen LC-Glaskörper ist ein zweiter Glasträger aufgebracht, der die Touchfolie resistiver Bauart aufspannt. Der Touchscreen hat eine vordefinierte Auflösung von 8x4 Feldern, die jeweils ca. 20x20 Pixel Größe aufweisen. Die externe Ansteuerung des Displays geschieht dank des eingebauten Grafikcontrollers über eine serielle RS-232-Schnittstelle mit wählbaren Baudraten von 1200 bis 115200 Baud. Zur Flusststeuerung wird ein hardwarebasiertes RTS/CTS-Handshake empfohlen. Die Verwendung dieses Verfahrens ist laut Hersteller optional, jedoch in Verbindung mit dem DUART unerlässlich, da das Display lediglich über einen Datenpuffer von 45 Bytes verfügt. Das Datenformat der seriellen Schnittstelle wurde für die Visualisierungsapplikation fest eingestellt auf 9600 Baud, 8 Datenbits, 1 Stopbit und keine Parität. Die Abschaltung der Parität birgt in dieser Applikation keinerlei Sicherheitsrisiko bezüglich einer möglichen Störungseinstreuung, da die Verbindung zwischen dem steuernden Controller und der Anzeige sehr kurz gehalten wurde. Der physikalische Anschluss des Displays geschieht über ein 10poliges Flachbandkabel, das sowohl die seriellen Kommunikationsleitungen, als auch Verbindungen für die Stromversorgung beherbergt.

Das Mensch-Maschine-Interface soll als eine bidirektionale Schnittstelle zwischen dem Energiemonitoringsystem und dem Benutzer agieren. Die Visualisierung der Energieverbrauchsinformationen stellen die eine Richtung des Informationsflusses dar; die andere Richtung wird durch Benutzereingaben über den Touchscreen repräsentiert. In der Software muss eine entsprechende Eingabealgorithmik dafür sorgen, dass komplexere Eingaben wie Zahlenkombinationen richtig aus vom Touchscreen zurückgelieferten Codes zusammengesetzt werden.

Abbildung 4.21 zeigt die letzte Revision der grafischen Visualisierungseinheit mit EIB-Schnittstelle, jedoch ohne Display und ATEM-Empfänger, aufbauend auf einer als Labormuster entworfenen gedruckten Schaltung in SMD-Technik.

4.2.4 Textbasierte Visualisierungseinheit

Zusätzlich zur Visualisierungseinheit mit vollgrafischer Darstellung auf einem LC-Display wurde eine zweite Variante entwickelt, die lediglich textuelle Darstellung auf einem LC-Display ohne Touchscreen beherrscht, doch sowohl von der Systemarchitektur, als auch von den Herstellungskosten wesentliche Vorteile bietet. Als Prozessoreinheit wird dabei ein ultrakompakter, neuartiger Einplatinen-Mikrorechner eingesetzt, ein sogenanntes TINI-Board der Firma Dallas Semiconductor. Der eigentliche Rechner hat die Größe eines PS/2 SIMM Speicherriegels (Abbildung 4.22).

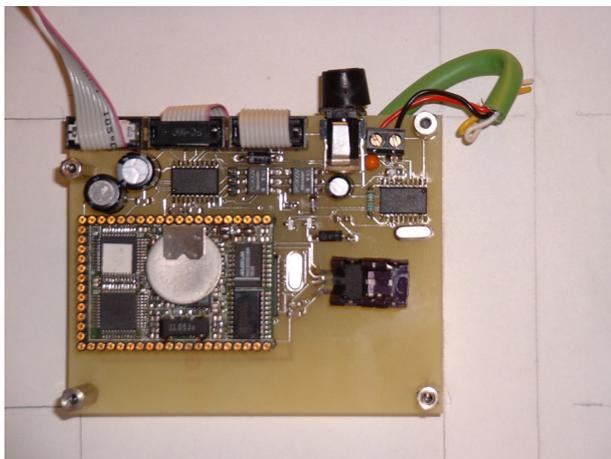


Abbildung 4.21: Prototyp der Visualisierungseinheit auf gedruckter Schaltung

Das TINI-Board basiert auf dem leistungsfähigen Mikrocontroller DS80C390 aus der 8051 Familie, ebenfalls ein Produkt der Firma Dallas Semiconductor. Als Speicher für den Prozessor wird ein statisches RAM eingesetzt, das je nach Ausführung 512KByte oder 1MByte groß ist. Da das SRAM nicht nur als Arbeits-, sondern auch als Programm- und Datenspeicher Verwendung findet, muss es batteriegepuffert werden. Dies geschieht durch eine auf der Platine integrierte Lithiumzelle. Zusätzlich zum SRAM verfügt das TINI-Board über einen 512KByte großen Flashspeicher, der standardmäßig das Betriebssystem, die UNIX-ähnliche Benutzeroberfläche und Betriebsparameter wie Netzwerkeinstellungen hält, das feste Einprogrammieren von Applikationen ist jedoch ebenso möglich.

Der Einplatinencomputer verfügt über eine Ethernetschnittstelle inklusive Transceiver (10Base-T) und zwei serielle RS-232 Schnittstellen, sowie eine CAN, I²C („2-Wire“) und 1-Wire-Bus Schnittstelle. Für die erste der beiden seriellen Schnittstellen ist bereits ein Pegelwandler auf RS-232 konforme Signalpegel auf dem Board integriert, die zweite Schnittstelle des Prozessors bedient den 1-Wire Bus, kann jedoch auch in herkömmlicher Konfiguration mit TTL-Pegeln genutzt werden und ist an der Anschlussleiste des Moduls herausgeführt. Weitergehende Informationen zum TINI-Board und zur Programmierung sind in [Loo01] verfügbar.

Das TINI-Board kann direkt in Java programmiert werden, besitzt eine UNIX-ähnliche, kommandozeilenorientierte Oberfläche und eine Benutzerverwaltung. Ein kompletter TCP/IP Stack ermöglicht unter anderem die Implementierung diverser Netzwerkdienste wie z.B. eines Web-Service. Fer-

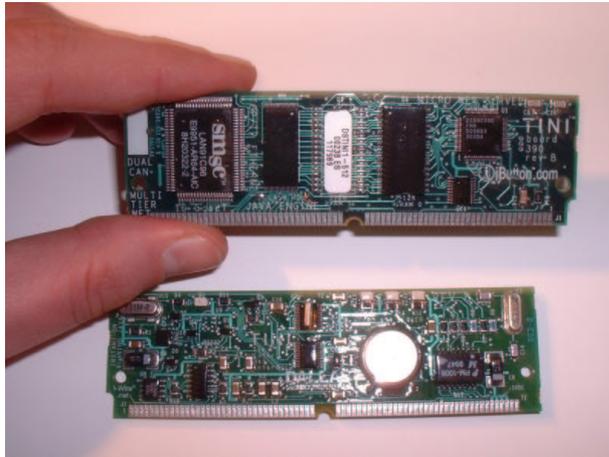


Abbildung 4.22: TINI-board der Firma Maxim/Dallas Semiconductor

ner verfügt das TINI-Board über einen FTP Server, TELNET Zugang und über einige weitere Netzwerkdienste.

Zusätzlich zum eigentlichen TINI-board ist eine Grundplatte (Abbildung 4.23) erforderlich, die dem Rechner einerseits eine mechanische Befestigung und andererseits die notwendigen elektrischen Anschlüsse zur Verfügung stellt. Bei der Entwicklung der Basisplatte wurde besonders auf die ho-

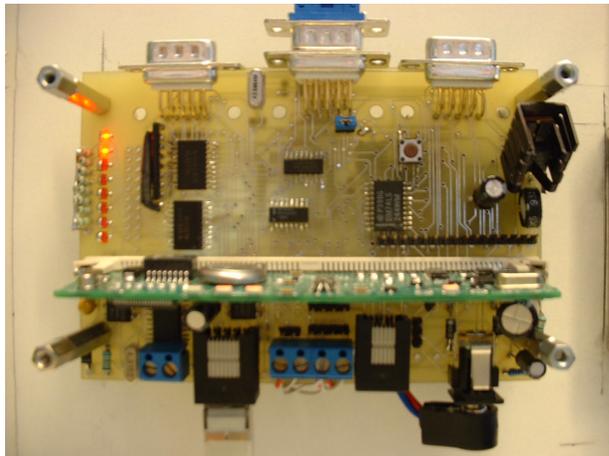


Abbildung 4.23: TINI-Grundplatte zur Nutzung vielfältiger Schnittstellen

he Flexibilität bei den gebotenen Schnittstellen sowie auf möglichst geringe resultierende Abmaße geachtet. Dabei wurde nicht nur die Spannungsversor-

gung integriert, sondern auch alle notwendigen Anschlüsse des TINI-boards auf entsprechende Anschlussstecker am Rand der doppelseitig ausgeführten und auch beidseitig bestückten Platine geführt. Ein EIB TP-UART mit galvanischer Trennung, 8 digitale Eingänge, 8 digitale Ausgänge mit Status-LEDs, ein CAN-Bus Transceiver, ein DUART mit zwei RS-232 Pegelwandlern für die Realisierung von zwei weiteren seriellen Ports und eine Schnittstelle zu LC-Displays wurden auf diesem Board zusätzlich angebracht, um ein universell einsetzbares Einplatinensystem zu erhalten und damit für spätere Erweiterungsmöglichkeiten gerüstet zu sein.

Dieses sehr leistungsfähige Mikrocontrollersystem mit seinen attraktiven Eigenschaften – der Materialpreis liegt bei ca. 170 Euro für ein Einzelstück – bietet eine universell einsetzbare Hardwareplattform für die Realisierung der untersuchten Strukturen. Dies ist auch der Grund, weshalb die Software dieser Visualisierungseinheit auf Basis der objektorientierten Programmiersprache „Java“ entwickelt wurde. Durch die Portabilität und Plattformunabhängigkeit dieser Sprache wird es auch in Zukunft möglich sein, die Funktionalität der Visualisierungseinheit auf neu entwickelte Hardwarekomponenten zu übertragen, im Idealfall ohne die Software ändern zu müssen.

4.2.5 Datenkonzentrator

Der dezentrale Datenkonzentrator wurde konzipiert, um eine Liegenschaft mit einem oder mehreren dieser Geräte auszustatten, deren Aufgabe es ist, die Verbrauchswerte der Sensoren zu erfassen, zu sammeln und „gebündelt“ über eine DFÜ-Verbindung an einen zentralen Datenserver zu übermitteln. Das konzipierte Gerät verwendet als grundlegende Komponente ebenfalls das TINI-board. Dieser bereits in Kapitel 4.2.4 beschriebene Baustein wird aus mehreren Gründen für den Einsatzzweck im dezentralen Datenkonzentrator favorisiert. Zum einen besticht die sehr gute Schnittstellenausstattung für serielle, Ethernet- oder EIB-Verbindungen, so dass die meisten Vernetzungsmöglichkeiten zu Sensoren und Benutzerschnittstellen bereits im Gerät vorhanden sind. Zum anderen bietet die Softwarearchitektur des TINI-boards durch die Verwendung der objektorientierten Programmiersprache Java eine hohe Flexibilität, um verschiedene Applikationen auf derselben Hardware betreiben zu können. Damit ist eine vereinheitlichte Plattform für die verschiedenen Applikationen geschaffen worden.

Die Hardware des dezentralen Datenkonzentrators besteht zusätzlich zum TINI-board und der ebenfalls in Kapitel 4.2.4 beschriebenen Basisplatine aus einem Sensordatenempfänger, bei den verwendeten Verbrauchssensoren ein ATEM-Empfängermodul (Abbildung 4.12). Ein LC-Display, auf dem die aktuell empfangenen Verbrauchsdaten mit Sensorseriennummer und Zähler-

stand angezeigt werden, ist optional anschließbar, um für eine eventuelle Fehlersuche eine Ausgabe erhalten zu können, für den Normalbetrieb des Gerätes ist es jedoch nicht notwendig.

4.2.6 Zentraler Datenserver

Für die Aufgabe der zentralen Datenkonzentration wurde für die vernetzte Lösung des Gesamtsystems eine Liegenschaftszentrale vorgesehen. Diese Zentrale besteht aus einem embedded PC (siehe Blockschaltbild 4.24 und Abbildung 4.25) mit einem angeschlossenen Massenspeicher zur Aufnahme der via Feldbus von den einzelnen Empfangs- und Visualisierungseinheiten übermittelten Verbrauchsdaten. Der eingesetzte embedded Rechner ist ein x86-kompatibler Hitex PC unter Verwendung eines AMD Elan Prozessors, 16MB Hauptspeicher und einem 64MB Flashspeicher für die Verbrauchswerte in Form einer Flashdisk.

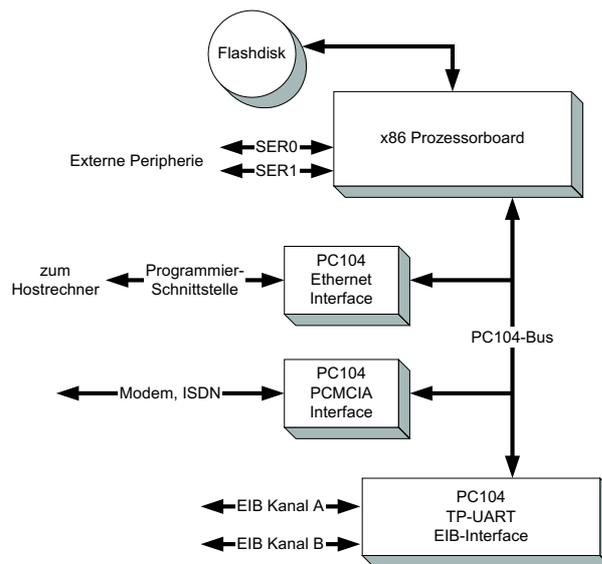


Abbildung 4.24: Blockschaltbild des PC104 Stapels

Als Betriebssystem wird für den Rechner WindowsCE verwendet, weshalb die Applikationssoftware in C++ entwickelt wurde (Kapitel 4.3.2). Der Zugriff auf den Feldbus EIB wurde wegen fehlender nativer Treiberunterstützung seitens WindowsCE und der EIBA mittels des am Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik entwickelten „EIB-Modems“, einem Protokollumsetzer zwischen dem zeitkritischen EIB-BCU1-Protokoll und einer textuellen, zeilenorientierten Darstellung der Telegramme, realisiert. Nach Erscheinen des

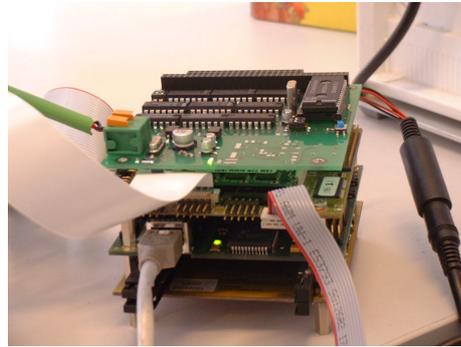


Abbildung 4.25: Embedded PC zur Verbrauchsdatenspeicherung

EIB TP-UARTs wurde sowohl ein serielles, als auch ein PC104-Interface, das in Abbildung 4.25 als oberste Schicht des PC104-Stapels zu sehen ist, unter Verwendung dieses Bausteins entwickelt. Die Liegenschaftszentrale dient besonders zur Realisierung der Systemstruktur mit einzelnen, über einen Feldbus vernetzten Visualisierungseinheiten. Die konsequente Weiterführung der bei der Liegenschaftszentrale gemachten Ansätze führt zur Konzeption des zentralen Datenservers.



Abbildung 4.26: Demonstrationssystem des zentralen Datenservers

Die Komponenten des zentralen Datenservers im „zentralen Ansatz“ zum

Energiemonitoring bilden die konsequente Erweiterung des liegenschaftszentralen Datenkonzentrators, wie er hier kurz vorgestellt wurde. Da die Leistungsfähigkeit eines Serverrechners um ein vielfaches höher ist als die einer embedded Lösung, können die dezentralen Datenkonzentratoren vieler Liegenschaften von einem zentralen Datenserver bedient werden. Die Hardware eines solchen zentralen Datenservers besteht lediglich aus einer beliebigen Serverplattform mit einer stehenden Verbindung in das Internet. Im Labor wurde die in Abbildung 4.26 dargestellte, PC-basierte Serverlösung unter dem Betriebssystem SuSE Linux mit permanenter Netzwerkanbindung und redundanter Massenspeicherauslegung für die Entwicklung des zentralen Datenservers verwendet.

4.3 Anwendungsmodule Software

Nachfolgend werden die für die Visualisierungseinheiten und für die Datenkonzentratoren entwickelten Softwaremodule sowie deren Interaktion dargestellt. Dabei unterscheiden sich die Realisierungen stark in der Abstraktionsebene der Software. Bei der grafischen, mikrocontrollerbasierten Visualisierungseinheit konnte nur eine relativ niedrige Abstraktionsebene erreicht werden, da die Software ohne Betriebssystem direkt mit der Hardware interagiert, während die Lösungen in C++ und Java ein bereits vorhandenes Betriebssystem mit entsprechenden APIs („Application Programming Interfaces“) voraussetzen. Speziell die Implementierungen der auf Java basierenden Komponenten wurden nach dem objektbasierten Strukturmuster *Composite* [GHJV96, S. 239–253] entworfen, das zur hierarchischen Repräsentation von Objekten dient. Somit kann eine *Black-Box-Wiederverwendung* [GHJV96, S. 26], eine Wiederverwendung ohne Kenntnis der internen Details eines Objekts, erfolgen, die auch eine Austauschbarkeit von Softwaremodulen unter der Voraussetzung der Beibehaltung der Schnittstellen integriert.

4.3.1 Visualisierungssoftware für Mikrocontroller

Bei der Konzeption der Software für die grafische Visualisierungseinheit wurden die verschiedenen zu erledigenden Aufgaben in Funktionsmodule aufgeteilt. So ist die Bedienung der verschiedenen Schnittstellen, die Verarbeitung der Sensordaten und die Visualisierung der vorverarbeiteten Daten neben Aufgaben zur Kommunikation über Feldbusse zu berücksichtigen. Nicht zuletzt wegen der 8051-Hardwareplattform wurde die Programmiersprache C zur Realisierung ausgewählt. Wie in dieser Sprache üblich, werden die einzelnen Quellcode-Module übersetzt und zusammen mit den entsprechenden aus-

gelagerten Header-Dateien verknüpft. Anschließend wird eine Datei im Intel-Hex-Format erzeugt, welche dann mittels eines Programmierwerkzeugs über die serielle Schnittstelle der Entwicklungsplattform in den Flash-Speicher des Mikrocontrollers geladen wird.

Modularer Aufbau

Obwohl die verwendete Programmiersprache C keine Objektorientierung bietet, wurde eine größtmögliche Modularität der Software angestrebt. Die entstandenen Funktionsmodule, die zum Großteil den einzelnen zu bedienenden Hardwarekomponenten zugeordnet werden können (Abbildung 4.27), erlauben es, die Software problemlos an unterschiedliche Schnittstellen und deren Übertragungsprotokolle anzupassen. Die von den Modulen bereitgestellten Funktionen wurden derart gestaltet, dass die in Abbildung 4.27 dargestellten Blöcke abgeschlossene Einheiten mit definierten Verbindungen zu ihren Nachbarn darstellen. Die hierarchische Zugriffsstruktur der Module zeigt sich beispielsweise bei der Menüdarstellung, die im Modul *screen.c* implementiert ist. Dabei wird auf Funktionen niedrigerer Abstraktionsebene zur Text- und Grafikdarstellung zurückgegriffen, die das Modul *display.c* zur Verfügung stellt, die wiederum die wenigen, allgemeinen Prozeduren des Blocks *duart.c* zur Übertragung der Daten an die Peripheriekomponenten nutzen. Die Austauschbarkeit der Module gegen aktuellere oder andere Hardwarekomponenten unterstützende Funktionsblöcke ist ebenso gegeben wie eine Reduzierung der Funktionalität durch eine Ersetzung mit bei der Entwicklung entstandenen „Dummy“-Modulen. Diese stellen in der Hierarchie höher stehenden Blöcken benötigte Funktionen bereit, nutzen jedoch keine hierarchisch tiefer liegenden Dienste.

Diese Vorgehensweise ermöglicht ein hardwareunabhängiges Testen von einzelnen Softwaremodulen. Dies diente während der Untersuchung beispielsweise beim Testbetrieb der grafischen Visualisierungsapplikation ohne ATEM-Empfänger dazu, das System mit simulierten Funktelegrammen zu beaufschlagen. So wurde es möglich, die Funktion der höheren Anzeigedienste der Software ohne zusätzlichen Hardwareaufwand prüfen zu können.

Interruptsteuerung

Die Hardware der Visualisierungseinheit besitzt vier serielle Schnittstellen gleicher Priorität mit Übertragungsraten von je 9600 Baud. Um Datenverluste auf diesen vier Kommunikationswegen zu vermeiden, wurde die Software zu deren Bedienung interruptgesteuert konzipiert. Der verwendete Mikrocontroller verfügt sowohl über interne serielle Interrupts mit Unterscheidung

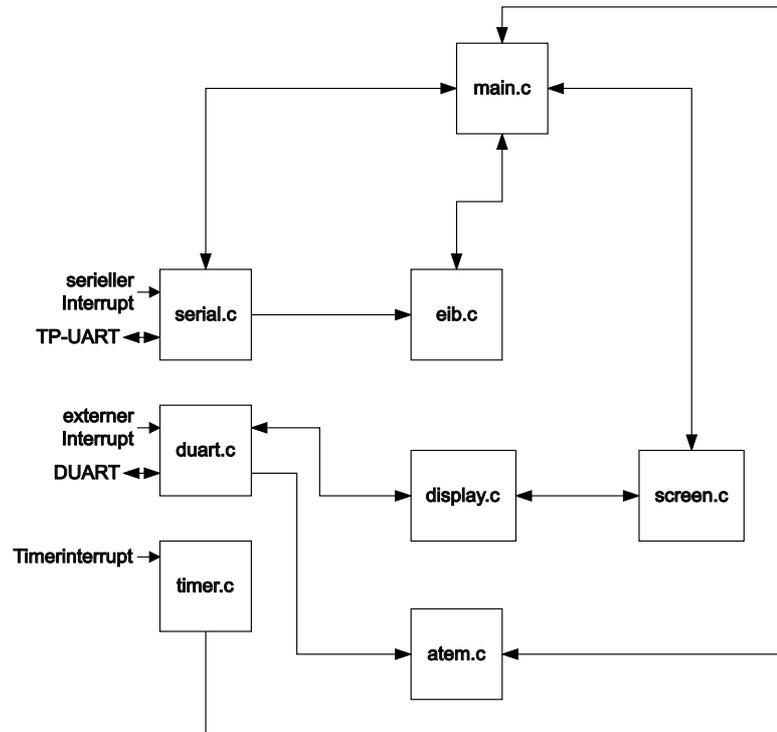


Abbildung 4.27: Übersicht über die Module der Visualisierungssoftware

zwischen Sende- und Empfangsquelle, als auch über externe Interruptquellen, bei denen erst innerhalb der Interrupt Service Routine (ISR) zwischen einzelnen Ereignissen unterschieden werden kann. Im Modul *DUART.c* (Abbildung 4.27) wurde die Interruptbehandlung der externen Quellen realisiert. Dabei wird die eigentliche Quelle nach Einleitung der Interruptbehandlung erst durch Auslesen der Statusregister des externen DUARTs ermittelt.

Datenstrukturen

Zur Datenspeicherung werden in der Visualisierungseinheit C-konforme Datenstrukturen verwendet, wobei auf eine Kapselung der Strukturen samt Zugriffsfunktionen in ein klassenähnliches Modul auf Grund der beschränkten adressierbaren Programmspeicherkapazität des Mikrocontrollers verzichtet werden musste.

Bei der Realisierung wurden zwei verschiedenen Datenstrukturen erforderlich, wobei die eine zur Aufbereitung und Aufschlüsselung des empfangenen ATEM-Telegramms notwendig ist und die andere eine Struktur zur Aufnahme der Raumdaten darstellt. In dieser werden auch die einzelnen Sensordaten

und aktuellen Verbrauchsstände gehalten. Der Aufbau beider Strukturen ist in Abbildung 4.28 abgebildet. Die Struktur zur Transcodierung der ATEM-Telegramme wird im RAM-Speicher lediglich einmal angelegt, da sie jeweils beim Eintreffen eines neuen Telegramms mit neuem Inhalt gefüllt und somit überschrieben wird. Aus einigen ihrer Inhalte wird der Zählerstand und die Seriennummer des jeweiligen Sensors ermittelt und der aktuelle Wert in eine der Raumstrukturen geschrieben. Da die Verwaltung mehrerer Räume mit jeweils mehreren Sensoren erfolgt, müssen von der Raumstruktur so viele Instanzen im Speicher angelegt werden, wie Räume verwaltet werden. In diesem Feld von Strukturen werden alle für die grundsätzlichen Visualisierungsmöglichkeiten notwendigen Informationen abgelegt.

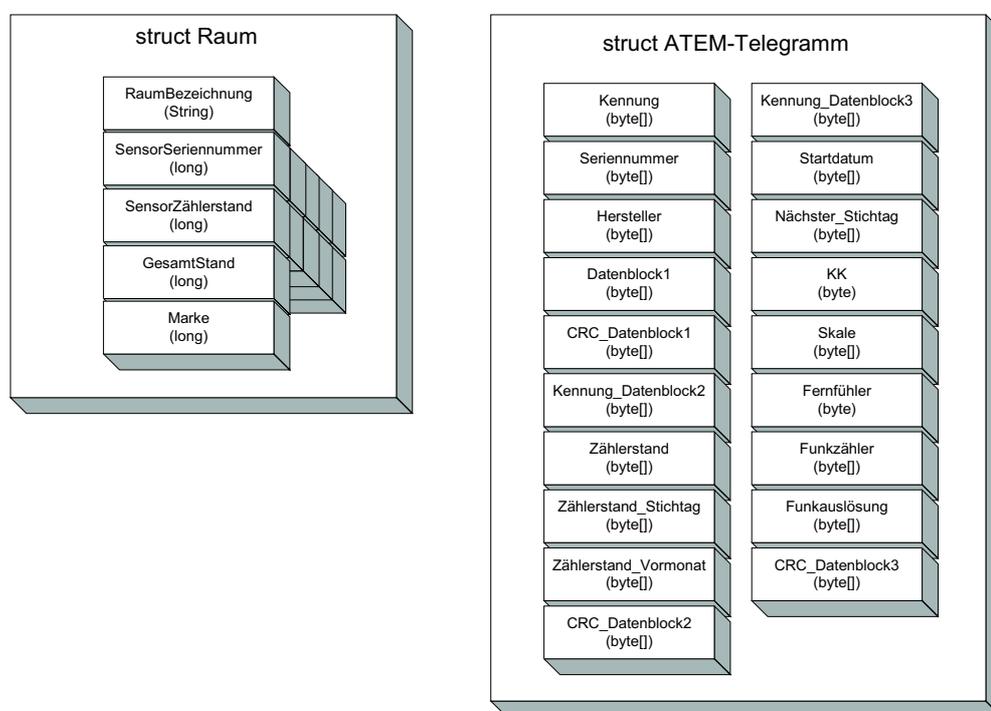


Abbildung 4.28: Software-Strukturen zur Datenspeicherung

Bedienkonzept und Navigation

Um die Verbrauchsdaten übersichtlich und leicht verständlich darstellen zu können, ist innerhalb des Bedienkonzepts eine Menüstruktur entwickelt worden, deren Aufbau Abbildung A.2 zeigt. Das Menü gliedert sich im wesentlichen in die drei Hauptbereiche „Zählerstand“, „Verbrauch“ und „Konfigu-

ration“. Diesen drei Bereichen sind lediglich drei Menüdarstellungen, nacheinander „Screens“ genannt, übergeordnet. Zum einen handelt es sich dabei um den Empfangs-Screen, der die Bereitschaft des Touchpads nach der Initialisierung anzeigt und zum anderen um das Hauptmenü, welches sich aus zwei Screens zusammensetzt. Auf dem einen besteht die Möglichkeit zwischen den Bereichen Stand und Verbrauch zu wählen, während der dritte – ebenfalls zum Hauptmenü gehörige – Screen lediglich die Auswahlmöglichkeit des Konfigurationsmenüs beinhaltet. Die Trennung der drei Hauptbereiche auf zwei separate Hauptmenü-Screens wurde gewählt, um eine Separierung der Konfiguration von der Bedienung zu erreichen. Hier kann eine Passwort-Sicherung durch PIN-Code oder entsprechende externe Hardware wie iButtons ([Dal02]), Chipkarten, Transponder oder ähnliche Vorrichtungen erfolgen. Anhand von Abbildung A.2 ist die Navigation durch die einzelnen Menüs leicht zu verfolgen. Wird eine textbasierte Taste auf einem Screen ausgewählt, erfolgt ein Hinabsteigen in der Menühierarchie um eine Ebene. Durch Drücken des Zurück-Knopfes gelangt der Benutzer immer genau eine Ebene in der Hierarchie nach oben. Durch mehrfaches Betätigen des Zurück-Knopfes gelangt der Bediener folglich schrittweise bis zum Hauptmenü. Durch Drücken der Home-Taste ist es möglich, sofort zurück in das Hauptmenü zu springen. Bewegt sich der Benutzer horizontal innerhalb der Menüstruktur, ist dies gleichbedeutend mit der Rollfunktion durch die beiden Pfeiltasten. Im Menü „Stand“ werden die Zählerstände der einzelnen Sensoren als Zahlenwerte dargestellt. Die Sensoren sind durch die Konfiguration, welche einmalig bei der Inbetriebnahme der Visualisierungseinheit durchzuführen ist, den unterschiedlichen Räumen zugeordnet. Die Identifizierung der einzelnen Sensoren erfolgt anhand ihrer jeweiligen Seriennummer, wobei die Sortierung der Anzeige nach der Zuordnung zu den einzelnen Räumen erfolgt (Abbildung 4.29). Zur Generierung dieser Anzeige müssen die in numerischer Form in den Strukturen vorliegenden Daten durch einen Konvertierungsalgorithmus in Zeichenketten umgewandelt werden, die das Display verarbeiten kann. Eine grafische Darstellung von kumulierten Energie-Verbräuchen der einzelnen Räume wurde in die Software ebenso implementiert und ist über das Menü „Verbrauch“ erreichbar. Dieser zweite Hauptbereich ist seinerseits in zwei Bereiche, eine allgemeine Verbrauchsübersicht und eine detaillierte Zimmerübersicht aufgeteilt. Über die allgemeine Verbrauchsübersicht ist es dem Nutzer möglich, eine nach Räumen geordnete, kumulierte Jahresübersicht seines Energieverbrauchs angezeigt zu bekommen. Die detaillierte Zimmerübersicht ermöglicht eine Darstellung des monatlichen Verbrauchs eines Raumes im Vergleich zu anderen Monaten. Der erste Screen im Verbrauchsmenü bietet eine Auswahlmöglichkeit zwischen diesen beiden Bereichen an. Durch die Auswahl des Buttons mit der Aufschrift „Übersicht“ gelangt der Bediener in

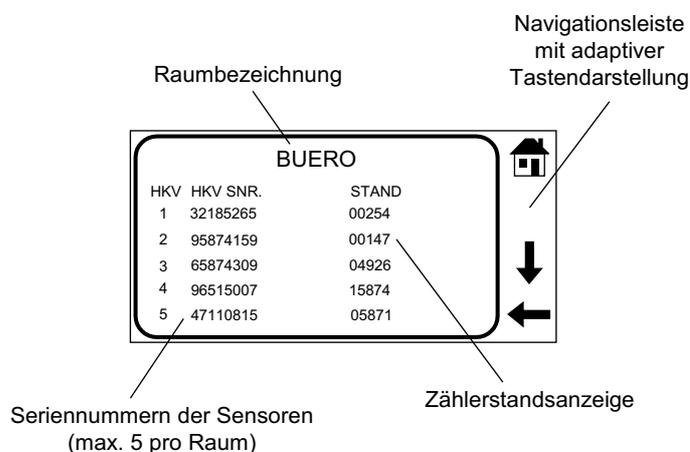


Abbildung 4.29: Screen „Stand“

das Untermenü des kumulierten Jahresverbrauchs. Dieser, nach Räumen untergliederte Verbrauchswert, wird nach Formel 4.11 berechnet. Dabei wird der Verbrauch an den einzelnen Messstellen durch die Differenz der Zählerstände des betrachteten Jahres $Z_{Sensor\ j, Jahr\ i}$ und des Vorjahres $Z_{Sensor\ j, Jahr\ i-1}$ ermittelt und diese Verbräuche anschließend über die Anzahl der in diesem Raum vorhandenen Sensoren $N_{Sensor, Raum}$ summiert.

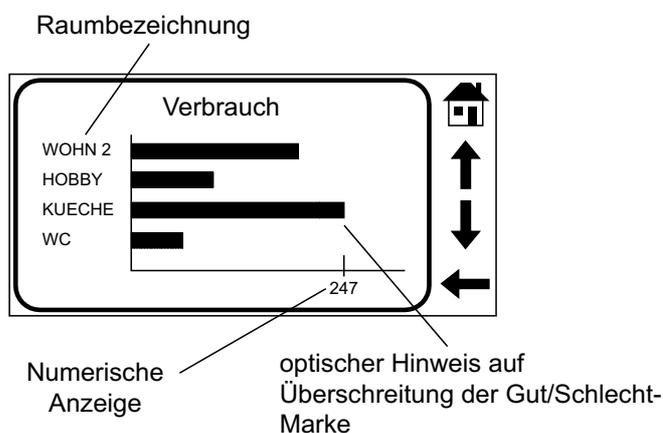


Abbildung 4.30: Screen „Verbrauch“

$$Q_{Jahr\ i} = \sum_{j=1}^{N_{Sensor, Raum}} (Z_{Sensor\ j, Jahr\ i} - Z_{Sensor\ j, Jahr\ i-1}) \quad (4.11)$$

Das Erscheinungsbild der Verbrauchsdarstellungen wird jeweils durch ein mehrzeiliges Balkendiagramm dominiert. Um die Übersichtlichkeit der Informationen zu gewährleisten, sind maximal vier Räume auf einem Screen zusammengefasst, die übereinander angeordnet werden. Die Skalierung der dargestellten Balken erfolgt dabei automatisch. Dabei wird die Skala auf den größten vorkommenden Zählwert skaliert und die kleineren Werte proportional dazu dargestellt. Die Darstellung einer „Gut/Schlecht“-Marke, anhand derer der Nutzer ähnlich einer Verbrauchsampel seinen zu hohen Verbrauch mit einem Blick erkennen kann, wurde ebenso integriert. Dabei wird das Überschreiten dieser zusätzlichen, binären Anzeige durch einen Wechsel im Grafikmuster der Balken dargestellt. Die quantitative Beschriftung der Skala erfolgt aus Platzgründen lediglich an einer Stelle am unteren Rand der Abszisse (Abbildung 4.30). Die Überschreitung der Gut/Schlecht-Marke ist an einen im Gerät hinterlegten Verbrauchswert gekoppelt, der über externe Datenquellen änderbar ist. In der untersuchten Systemstruktur mit einzelnen Visualisierungseinheiten ohne eine gemeinsame Datenbasis wurde eine solche Gut/Schlecht-Marke im Gerät selbst generiert, indem der Verbrauchswert auf die Fläche des jeweiligen Raumes bezogen wurde und bei der Konfiguration des Gerätes ein repräsentativer Verbrauchswert pro Quadratmeter für jeden Raum eingespeichert wurde. Dieses Vorgehen ist zunächst einleuchtend, jedoch stellte sich in entsprechenden Untersuchungen am Labormodell heraus, dass die notwendigen Vergleichswerte schwierig abzuschätzen bzw. zu berechnen sind, da Größen wie das vorherrschende Klima und das Nutzerverhalten kaum berechenbar sind. Zudem ist für eine zeitlich vergleichende Auswertung eine große Datenbasis notwendig, die das einzelne Gerät nicht bieten kann. Auf Grund dieser Erkenntnisse wurde die „Verbrauchsampel“ als extern über einen Busanschluss parametrierbares Element implementiert.

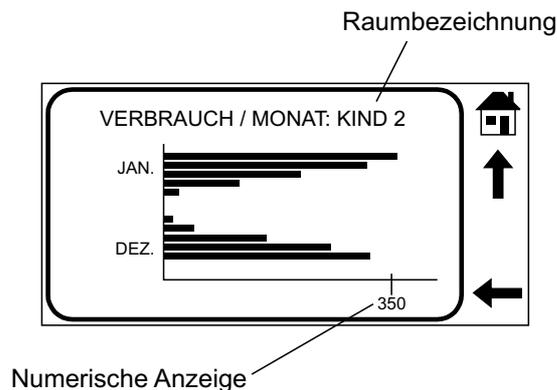


Abbildung 4.31: Screen „Kumulierter Jahresverbrauch pro Raum“

Der zweite Bereich des Verbrauchsmenüs bietet die Möglichkeit, den Verbrauch einzelner Zimmer detaillierter aufzuschlüsseln (Abbildung 4.31). Hier wird als Kumulierungszeitraum nicht ein Jahr, sondern lediglich ein Monat angesetzt. Über die Zimmerauswahl-Screens, welche den gleichen schematischen Aufbau besitzen wie die Zählerstand-Menüs, kann zur detaillierten Zimmerübersicht navigiert werden. Die Screens zur Zimmerauswahl unterscheiden sich dabei lediglich in der Überschrift. Die detaillierte Zimmerübersicht besitzt so denselben schematischen Aufbau wie der kumulierte Jahresverbrauch, allerdings musste bei der Realisierung die Skalierung der Ordinate nachse verfeinert werden, um den Verbrauch aller zwölf Monate gleichzeitig auf einem Screen darstellen zu können.

Konfiguration

Der dritte Hauptbereich der Mikrocontrollersoftware ist für die Konfiguration des Gerätes zuständig. Über eine zugangsbeschränkende Sicherheitsabfrage, die die prototypische Laborversion noch nicht implementiert, wird das Konfigurationsmenü erreicht. Dort können die zum Betrieb notwendigen Parameter der Visualisierungseinheit eingestellt und abgespeichert werden. Der Konfigurationsprozess beinhaltet im wesentlichen die Definition der existierenden Räume und die Zuordnung von Heizkostenverteilern und EIB-Gruppenadressen. Die Zuordnung der relevanten Heizkostenverteiler ist insofern wichtig, da auch Funktelegramme von Sensoren empfangen werden können, welche beispielsweise zur Nachbarwohnung gehören. Nachdem die gesamte Konfiguration über das berührungssensitive Display mit den dort dargestellten Soft-Keys, den Touchscreen-Buttons, erfolgen soll, ist davon abgesehen worden, eine Texteingabe zu implementieren. Es ist zwar möglich, auf den insgesamt 32 Touchfeldern alle Buchstaben und ein gewisse Anzahl an notwendigen Sonderfunktionstasten darzustellen, aber eine gleichzeitige Eingabekontrolle ist auf Grund der begrenzten Darstellungsgröße nicht realisierbar. Durch Vorkonfigurieren der Raumbezeichnungen wurde die Notwendigkeit einer textuellen Eingabe vermieden. Die restliche Konfiguration wird über eine numerische Eingabe gesteuert (Abbildung 4.32). Nach Bestätigen der Eingabe wird die eingegebene Zahlenkolonne, bestehend aus Returncodes des Displays, mittels eines Konvertierungsalgorithmus in der Software in einen numerischen Wert gewandelt und in einer temporären Konfigurationsdatenstruktur abgespeichert.

Der Algorithmus lässt eine Eingabe von maximal 8-stelligen Zahlen zu, was auch für Sensorseriennummern ausreichend ist. Wird eine kürzere Zahl eingegeben, werden bei der Konvertierung in eine Zeichenkette die vorderen Stellen mit Nullen aufgefüllt und schließlich in einen 32-bit Wert vom Typ *long*

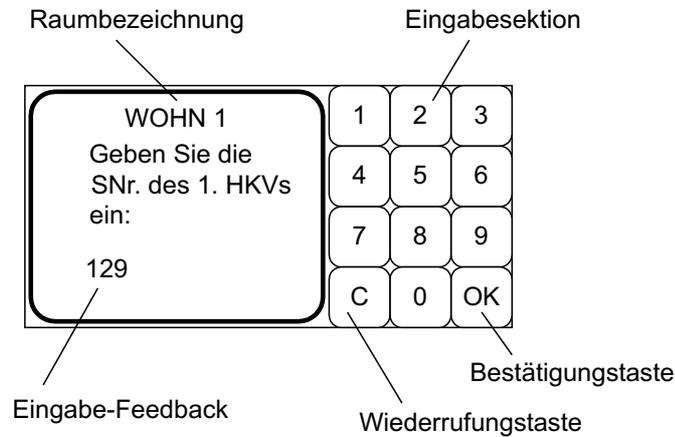


Abbildung 4.32: Eingabemaske zur Sensordatenkonfiguration

gewandelt. Die Beschränkung auf maximal fünf Seriennummern pro Raum resultiert aus der in der Software definierten Datenstruktur. Die Festlegung auf diesen Wert wurde empirisch getroffen, da eine Bestückung eines Raumes mit mehr als fünf Heizkörpern selbst in größeren Räumen als eher unwahrscheinlich gilt. Wie im Projekt „ISOTEG“ ([BDF01]) in Zusammenarbeit mit dem ZAE Bayern (Zentrum für angewandte Energieforschung) in Würzburg gesammelte Erfahrungen aus der Praxis eines Grundschulgebäudes (Kapitel 6) zeigten, werden selbst in großen Klassenräumen lediglich drei Heizkörper installiert.

Nach einer abschließenden Anzeige der konfigurierten Daten und deren Bestätigung durch den Bediener werden die Daten aus der temporären Datenstruktur einerseits in die aktuell gültige Konfigurationsdatenstruktur (Abbildung 4.28) übernommen und andererseits diese in den nichtflüchtigen Bereich des Controllermoduls gesichert, von wo sie nach einem Ausfall der Versorgungsspannung durch die Initialisierungsroutinen der Software wiederhergestellt wird. In Abbildung 4.33 ist der Konfigurationsprozess der Sensorseriennummern und der gleichzeitigen Raumzuordnung als Nassi-Shneiderman-Diagramm dargestellt, durch das die Komplexität dieses Prozesses deutlich wird. Durch die Zusammensetzung aus vielen einzelnen, teilweise interrupt-gesteuerten Algorithmen ergibt sich eine sehr komplexe Softwarestruktur.

4.3.2 Visualisierungssoftware für embedded Systeme

Für die in Kapitel 4.2.4 beschriebene Visualisierungseinheit müssen Programmmodule für die Verwaltung der einzelnen Schnittstellen, Aufbereitung

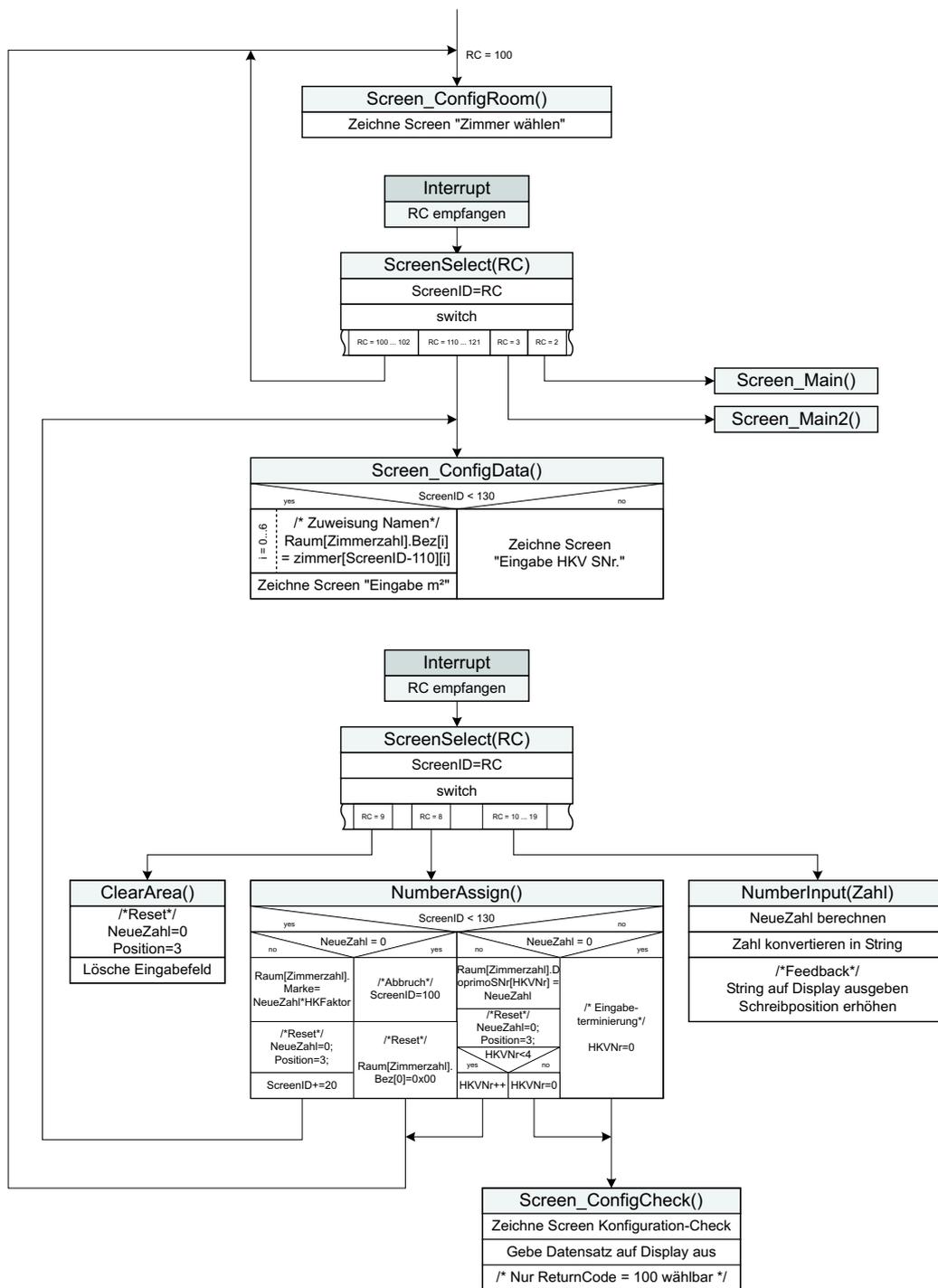


Abbildung 4.33: Konfigurationsprozess als Nassi-Shneiderman-Diagramm

der empfangenen Daten und für die Anzeige entwickelt werden. Da die textbasierte Visualisierungseinheit auf einem TINI-board basiert, ist bereits ein Betriebssystem mit UNIX-ähnlicher Kommandozeilenoberfläche vorhanden, wodurch die Visualisierung als Applikation unter Benutzung abstrahierter APIs realisiert werden kann. Das TINI-board kann in der Hochsprache Java ([SUN00b]) programmiert werden, wodurch sich die Software objektorientiert und modular entwickeln lässt. Im einzelnen besteht die Visualisierungssoftware aus den in Abbildung 4.34 abgebildeten Modulen.

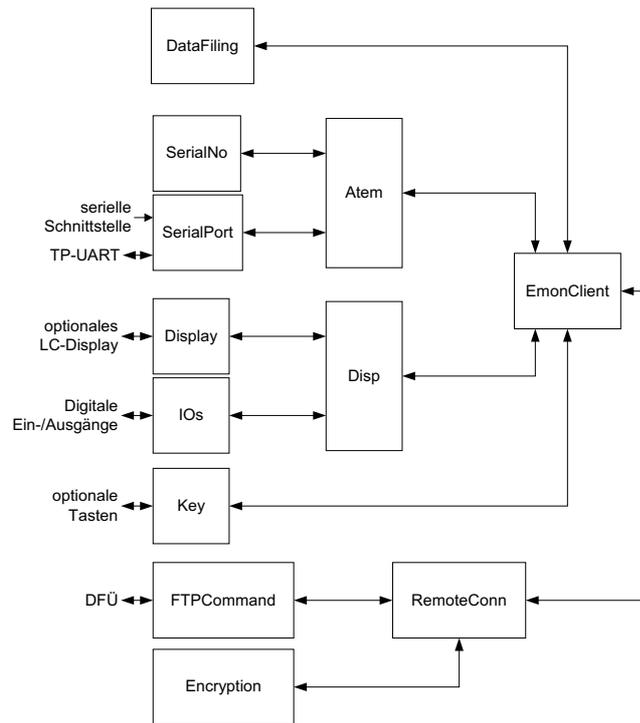


Abbildung 4.34: Übersicht über die Module der Visualisierungssoftware

Beim Start des Programms wird zuerst eine Instanz der Klasse *EmonClient* erzeugt, die nach einer Überprüfung der eigenen Hardwareseriennummer nacheinander die Klassen *DataFiling*, *RemoteConn*, *Disp*, *Key* und *Atem* instanziiert. Unmittelbar im Anschluss werden die zusätzlichen Ausführungspfade bzw. „Threads“ der Klassen *Atem* und *Key* von *EmonClient* aus gestartet. *Atem* erwartet dabei den Empfang eines neuen Sensordatentelegramms, während *Key* auf Tastendrucke reagieren kann, sofern Bedientasten physikalisch am Gerät vorhanden sind. *Atem* instanziiert zur Bedienung der seriellen Schnittstelle die Klasse *SerialPort* sowie die Klasse *SerialNo*, die zur Validierung empfangener Seriennummern dient. Nach dieser Initialisierungsphase

begibt sich der Hauptausführungspfad im Modul *EmonClient* in einen Schlafmodus und prüft lediglich alle 30 Sekunden, ob eine Übermittlung an einen zentralen Datenserver, die über die Klasse *RemoteConn* realisiert wird, ansteht. Alle anderen auftretenden Ereignisse wie zum Beispiel der Empfang eines Datentelegramms in der Klasse *Atem* werden direkt in den jeweiligen Ausführungspfad behandelt. Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen wie Variablen bzw. Objekten durch mehrere Threads wird dabei durch synchronisierte Zugriffe geregelt, um Zugriffsverletzungen oder Zerstörung von Variableninhalten zu vermeiden. Bei allen gleichzeitig laufenden Ausführungspfaden wurden beim Zugriff auf gemeinsame Objekte Synchronisierungsmaßnahmen mit Hilfe der in der Programmiersprache Java verfügbaren Mechanismen ergriffen.

Bei einem Datenempfang wird das ATEM-Telegramm nach einer Prüfung auf Vollständigkeit und der Extraktion des eigentlichen Sensordatentelegramms der Seriennummernkontrolle, implementiert in der Klasse *SerialNo*, übergeben. Hier wird die übermittelte Seriennummer des Sensors mit einer auf dem Filesystem hinterlegten Liste der gültigen Nummern verglichen. Im Falle einer gültigen Übertragung wird der Zählerstand des Sensors berechnet und zusammen mit der Seriennummer sowie der Empfangszeit mit Hilfe der Klasse *DataFiling* in eine Datei auf dem Dateisystem des TINI-boards geschrieben. Gleichzeitig wird die Darstellung des empfangenen Verbrauchswertes auf dem Display angestoßen, welche die Zählwerte der Sensoren chronologisch geordnet nach dem Zeitpunkt des Empfangs darstellt. Bei der Anzeige leistet die Klasse *Disp* Unterstützung, die komplexere Ausgabefunktionen ermöglicht und wiederum Funktionen der Klasse *Display* bedient, die rudimentäre Services zur Bedienung der LC-Anzeige enthält und auf die Systemklasse *LCDPort* aufsetzt. Das textbasierte Display wird als Peripheriebaustein in den Speicher des TINI-board eingebündelt und über Speicherstellen adressiert. Die Methoden von *LCDPort* ermöglichen dabei sowohl die Konfiguration der Speicheradresse der Anzeige, als auch das Senden von Daten an die Peripherieeinheit. Die ebenfalls in *Disp* genutzte Klasse *IOs* bedient die digitalen Ein- und Ausgänge des TINI-Boards und wird in der Clientsoftware des Energiemonitorings zur Statusanzeige über externe Leuchtdioden verwendet.

Bei Eintreten eines Übertragungsereignisses, d.h. wenn die Systemzeit mit dem vorgegebenen Datenübertragungszeitpunkt übereinstimmt, wird die Methode *transmitDataFile* der Klasse *RemoteConn* aufgerufen. Diese Methode veranlasst zunächst die Verschlüsselung der zu übertragenden Datei mit Hilfe der Klasse *Encryption*, die eine symmetrische Verschlüsselung mit fest im Gerät codierten Schlüssel vornimmt. Anschließend erfolgt eine Übertragung der im Dateisystem abgelegten, verschlüsselten Verbrauchsdaten zum zentralen Datenserver. Vorzugsweise wird hier das standardisierte „File Transfer

Protocol“ (FTP, [PR85]), basierend auf dem Protokoll TCP/IP, verwendet, dessen Client-Seite in der Klasse *FTPCommand* implementiert wurde, die wiederum von *RemoteConn* instanziiert wird. In dieser Klasse wurde das gesamte Verbindungsmanagement wie Login auf dem Server, Wechseln in das entsprechende Verzeichnis, Festlegen der Übertragungsart, das eigentliche Übertragen der Daten, etc. implementiert.

Die Ausführung einer solchen Visualisierungssoftware in Java-Technologie ermöglicht eine weitgehende Plattformunabhängigkeit. Bei der Einführung einer neuen, zukünftigen Hardwareplattform für diese Applikation müssen lediglich die Klassen *Display*, *Key* und *IOs* angepasst werden, da diese direkt mit der angeschlossenen Peripherie kommunizieren. Die Erweiterung der Anzeige auf dem textbasierten Display ist zwar von seinen Möglichkeiten begrenzt, kann jedoch noch ausgebaut werden, indem eine ähnliche Bildschirmverwaltung mit mehreren Menüebenen aufgebaut wird, wie bereits bei der Visualisierungseinheit mit grafischem LC-Display. Ein direkter Anschluss eines solchen grafischen LC-Displays ist ebenso möglich, da die verwendete Ausführung der Firma Electronic Assembly – wie bereits in Kapitel 4.2.3 erwähnt – über eine standardisierte RS-232 Schnittstelle angesprochen wird. Die Verschlüsselung der Daten vor der Übertragung bietet einen gewissen Schutz vor Datenmanipulationen und Abhören der Daten. Eine bessere Variante für zukünftige Systeme wäre die Übertragung über einen gesicherten Kanal unter Zuhilfenahme von Verfahren wie SSL ([FK96] und [Ope02]). Eine solche Implementierung konnte jedoch auf Grund der eingeschränkten Hardwarevoraussetzungen (Rechen- und Speicherkapazität des TINI-boards) nicht durchgeführt werden.

4.3.3 Visualisierung via Internet

Die Visualisierung von Verbrauchsdaten via Internet wurde als dritte Möglichkeit untersucht und ein entsprechender Prototyp realisiert. Das in Kapitel 4.3.6 beschriebene Serverkonzept wurde dabei auf die besonderen Bedürfnisse dieser Art von Visualisierung zugeschnitten, da die Anzeigekomponente zusammen mit dem zentralen Datenserver ein TCP/IP-basiertes Client-Server-System bildet.

Das Visualisierungs-Applet

Im Unterschied zu den vorher entwickelten Anzeigeeinheiten, besteht die Visualisierungseinheit für das Internet lediglich aus Softwarekomponenten, die in einer Java Virtual Machine innerhalb eines Webbrowsers auf einem PC des Nutzers lauffähig sind. Die Überlegung gründete auf dem Argument ei-

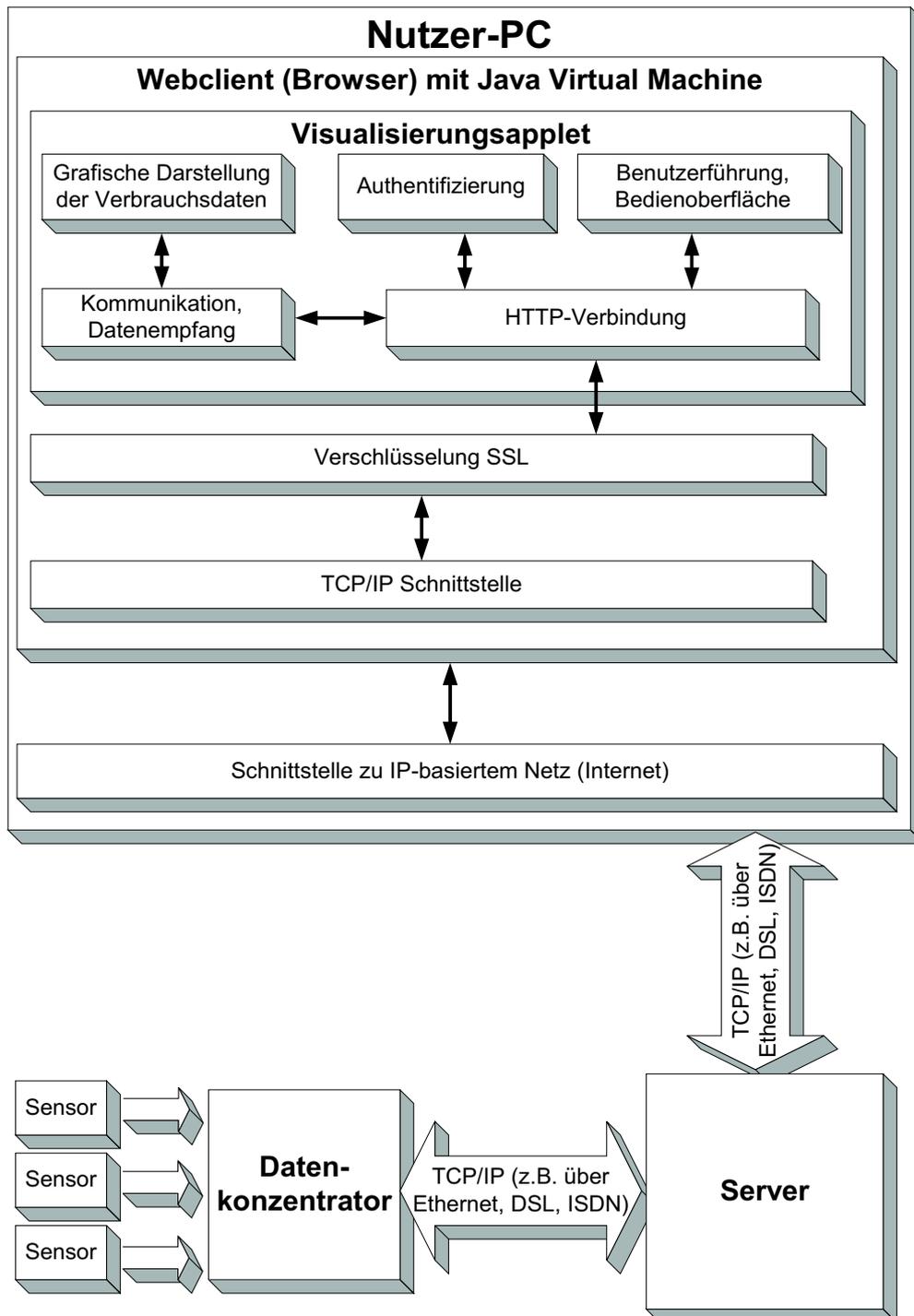


Abbildung 4.35: Funktionsmodule der Visualisierungssoftware via Internet

nes Energieabrechnungsunternehmens, die bisherigen entwickelten Visualisierungseinheiten wären für den breiten Einsatz zu schlecht wartbar und die entstehenden Kosten für den Nutzer nicht tragbar. Die Entwicklung einer äußerst kostengünstigen Visualisierung mit hohem Bedienkomfort und die wachsende Durchdringung der Haushalte mit Personal Computern und zugehörigen Internetanschlüssen führte zur Entscheidung, eine Visualisierungslösung auf Basis von PC- und Internettechnologie zu untersuchen.

Die entwickelte Software fußt auf der plattformunabhängigen Programmiersprache Java ([SUN00b]), die in Form von „Java-Applets“ auch in einem Web-Browser wie Netscape Navigator, Opera oder dem Microsoft Internet Explorer ausgeführt werden kann. Der Nutzer muss folglich auf seinem Rechner zur Visualisierung keine zusätzliche Software installieren, da das Visualisierungsapplet zur Laufzeit vom Server des Serviceproviders geladen wird. Die erwähnte Plattformunabhängigkeit von Java-Applets erlaubt zudem die Ausführung auf verschiedensten Hard- und Softwareplattformen. Auch neue Versionen der Visualisierungssoftware müssen nicht mit hohem Aufwand an die einzelnen Nutzer verteilt werden, ein einmaliges Überspielen auf den Webserver genügt. Das Visualisierungsapplet stellt in der Client-Server-Beziehung den Client-Teil dar und kommuniziert mit der serverseitigen „Servlet“-Komponente (Kapitel 4.3.6) über das standardisierte WWW-Protokoll HTTP ([Fea99]) über SSL (Abschnitt 4.3.3).

Das Applet selbst besteht aus einer Reihe von Funktionsmodulen, die in Abbildung 4.35 dargestellt sind. Nach Aufruf des Applets im Browser erscheint ein Anmeldedialog, das vom Nutzer seinen Login-Namen und das zugehörige Passwort fordert (Abbildung 4.36).

Das Passwort selbst wird bei der Eingabe im Dialogfeld nicht angezeigt, um das Sicherheitsrisiko durch Ausspähen der Eingabe durch Dritte zu minimieren. Nach Drücken des „Login“ Knopfes werden die eingegebenen Informationen an die Hauptklasse zurückgegeben, die mit dem Servlet des Serviceproviders Kontakt aufnimmt und die eingegebenen Nutzerdaten in einer *login*-Anfrage via HTTP zur Verifizierung an das entfernte System schickt. Nach erfolgter Verifikation der Nutzerdaten durch das Servlet, erhält das Applet eine „Session ID“ zugewiesen, die es für weitere Anfragen verwendet. Der folgende Auswahldialog ermöglicht es dem Nutzer, zwischen zwei verschiedenen Visualisierungsmöglichkeiten und dem Beenden des Applets zu wählen. Bei Anwahl der ersten Visualisierungsmöglichkeit, der Darstellung der aktuellen Zählerstände, nimmt das Applet Kontakt mit dem Serviceprovider auf und bekommt nach Absetzen einer „report“-Anfrage die entsprechenden Verbrauchswerte zurückgeliefert. Diese werden mit Hilfe der *plot*-Klasse aus dem „Ptolemy Project“ der University of California ([Uni01]), die in die Software integriert wurde, visualisiert. Die Klasse stellt dabei Methoden zur

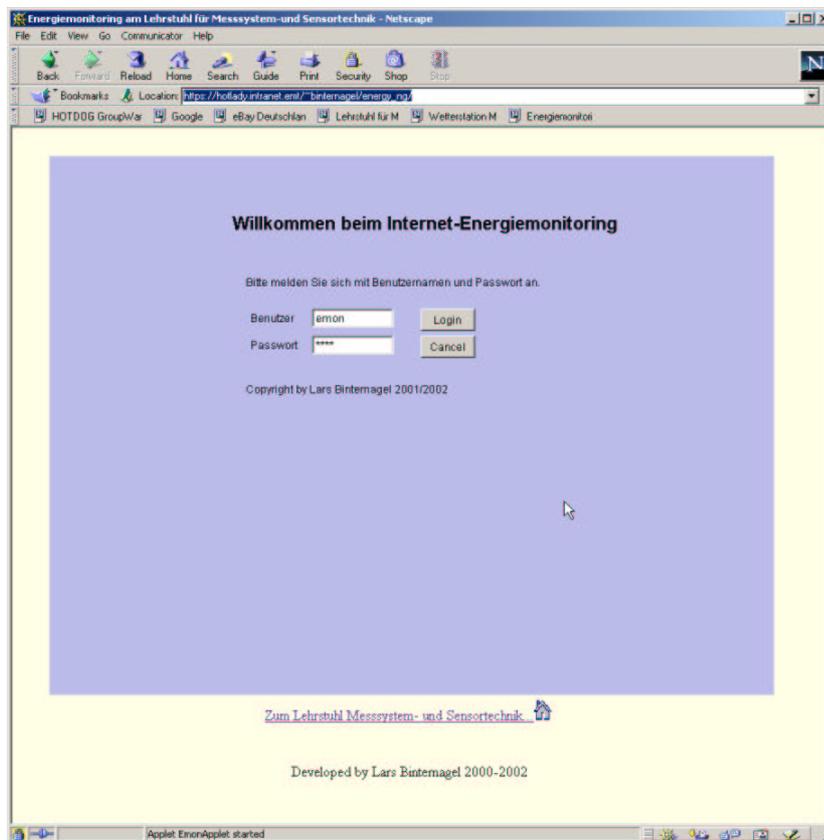


Abbildung 4.36: Anmeldedialog des Visualisierungsapplets

grafischen Darstellung von Daten in verschiedener Form zur Verfügung. Der Nutzer erhält so beispielsweise eine Darstellung der aktuellen Zählerstände wie in Abbildung 4.37 dargestellt. In der zur Darstellung gehörigen Legende wird sowohl der Verbrauchsort, als auch die jeweilige Sensorseriennummer angezeigt. Die zweite bislang implementierte Visualisierung bietet die Möglichkeit, innerhalb eines vom Nutzer bestimmten Zeitraumes den Zuwachs der Zählerstände der Sensoren, also den Verbrauch an den verschiedenen Orten, darzustellen. Dabei wird vom Applet der zweite vom Servlet zur Verfügung gestellte Reportgenerator abgefragt und in der Abfrage selbst zusätzlich zur „Session ID“ und der Reportkennung die Zeitspanne übermittelt.

Sicherheitsbetrachtungen

Bei der Schaffung von logischen Komponentenverbindungen über das weltweite Internet tritt sehr schnell die Fragestellung nach Sicherheit auf. Ver-

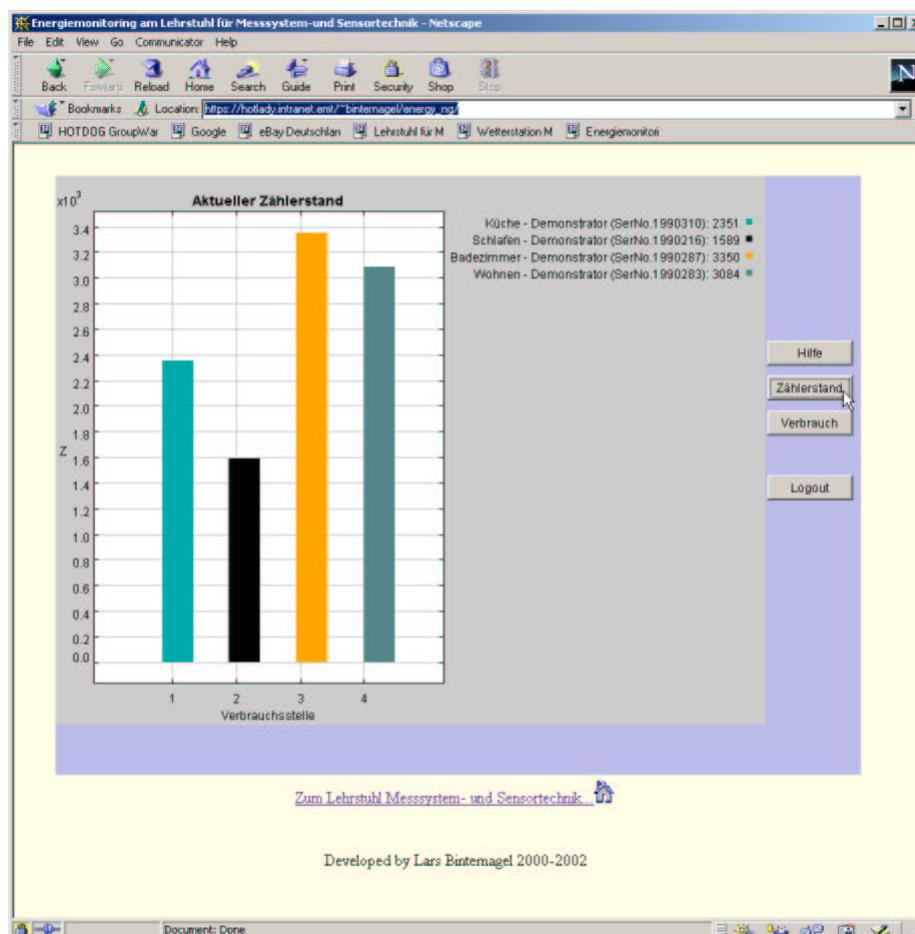


Abbildung 4.37: Darstellung der aktuellen Zählerstände im Applet

schiedene Angriffsszenarien sind dabei denkbar, von dem Einfachen Abhören der Daten bis hin zur Manipulation derselben.

Der Zugriff auf die Visualisierung ist von jedem beliebigen Internetanschluss aus möglich, wodurch eine Authentifizierung des Nutzers gegenüber dem Server des Providers notwendig wird. Zudem kann der genutzte Kommunikationskanal mit sehr einfachen Mitteln durch einen Angreifer abgehört werden, da das zur Datenübertragung zwischen Client und Server verwendete Protokoll HTTP sämtliche Anfragen und darauf folgende Antworten im Klartext überträgt. Nicht nur das reine Abhören der Informationen ist hierbei möglich, sondern auch die unerkannte Datenmanipulation durch einen zwischen die beiden Kommunikationspartner geschalteten Angreifer („man-in-the-middle“), der sich gegenüber dem Server als Client ausgibt und ge-

genüber dem Client als Server auftritt. Die Konsequenz der vielfältigen und deshalb hier nur unvollständig aufgeführten Angriffsszenarien ist die konsequente Verschlüsselung der gesamten Kommunikation zwischen Client und Server.

Die im System eingesetzte Verschlüsselung beruht auf „SSL“ (Secure Sockets Layer, siehe [FK96] und [Ope02]), das zwischen Applikations- und Transportlayer im ISO/OSI-Modell (Abbildung 3.1) eingefügt wird und den Transportlayer um eine Sicherheitsschicht ergänzt (Abbildung 4.38).

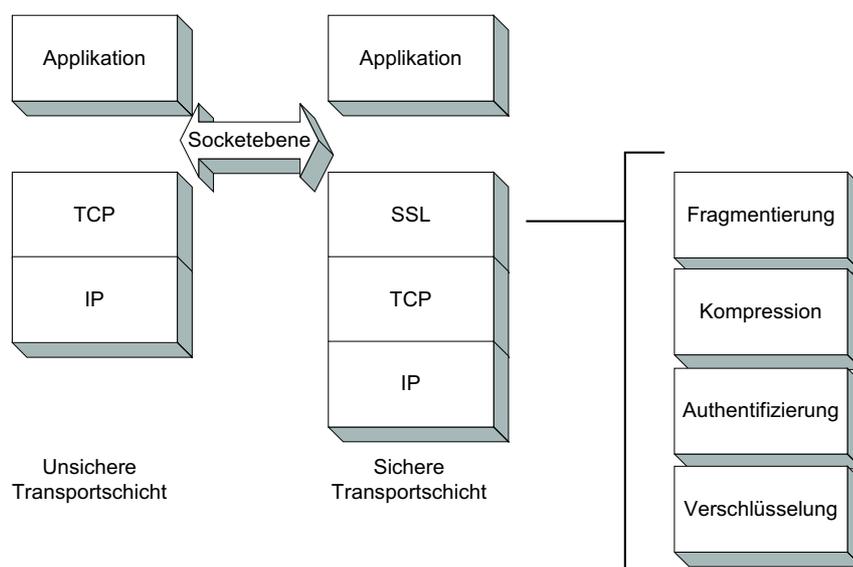


Abbildung 4.38: SSL Protokollschichten

SSL ist innerhalb dieses zusätzlichen Layers verantwortlich für Fragmentierung und Kompression der Nutzdaten, Authentifizierung von SSL-Datenpaketen und Verschlüsselung von Nutzdatenpaketen. Es verwendet dabei hybride Verschlüsselungsverfahren, nutzt also sowohl asymmetrische (z.B. RSA, „Rivest-Shamir-Adleman“, siehe [Ert01, S.75]), als auch symmetrische Verfahren (z.B. DES, „Data Encryption Standard“, siehe [Ert01, S.54] und AES, „Advanced Encryption Standard“, siehe [Ert01, S.64]). Die asymmetrischen Verfahren dienen dabei zum Austausch von Zertifikaten und symmetrischen Schlüsseln, die zur eigentlichen Chiffrierung der Nutzinformationen verwendet werden. Diese Aufteilung begründet sich im höheren Rechenaufwand asymmetrischer Algorithmen im Vergleich zu symmetrischen. Der Austausch der Schlüssel erfolgt dabei unter Verwendung des Diffie-Hellmann-Algorithmus ([Ert01, S.88]).

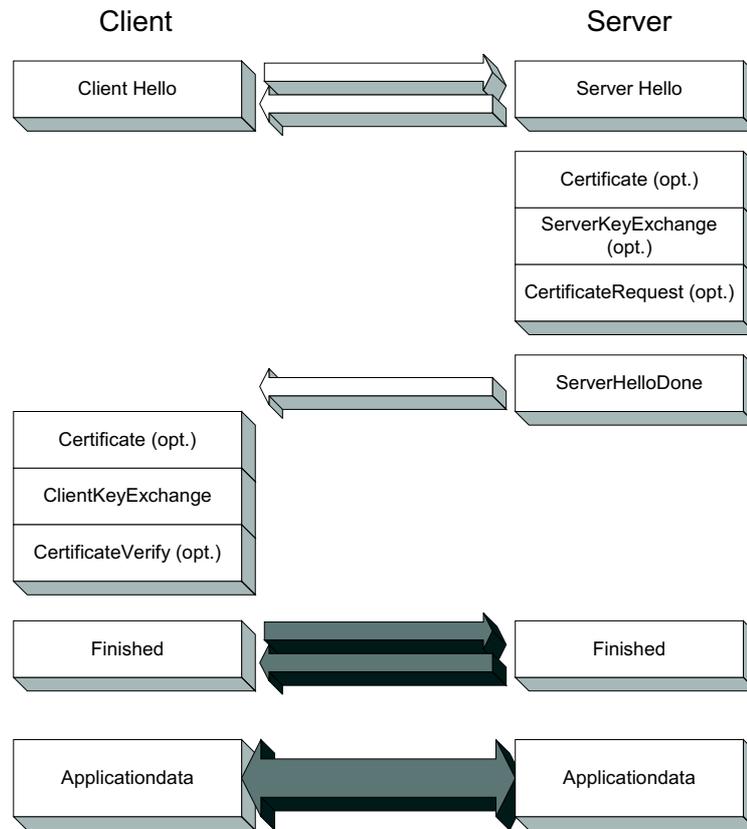


Abbildung 4.39: Kommunikationsablauf bei der Etablierung eines SSL-Kanals

Die Kommunikation zwischen Client und Server erfolgt dabei über ein Handshake Protokoll, das in Abbildung 4.39 dargestellt ist und im folgenden erläutert wird. Im ersten Schritt tauschen Client und Server nach erfolgtem Verbindungsaufbau eine „Hello Message“ aus. Diese Nachricht enthält die jeweils verwendete Protokoll Version, eine eindeutige Sitzungsnummer (SessionID), das verwendete Verschlüsselungsverfahren sowie die Kompressionsmethode. Jeder der beiden Kommunikationspartner überträgt zusätzlich eine Zufallszahl. Im nächsten Schritt überträgt der Server sein Zertifikat an den Client. Falls kein Zertifikat gesendet wurde, wird ein Schlüsselaustausch eingeleitet. Optional kann der Server auch die Authentifizierung des Clients durch ein Zertifikat fordern („Certificate Request“). Der Server beendet anschließend die Startphase des Handshakes durch die „HelloDone“ Nachricht. Der Client kann nun auf eine eventuelle Zertifikatsanfrage des Servers reagieren indem er ebenfalls sein Zertifikat oder bei Nichtvorhandensein eines solchen eine „no certificate“ Nachricht an den Server sendet. In jedem Fall verschlüsselt

der Client eine Zufallszahl mit dem öffentlichen RSA-Schlüssel des Servers, der in dessen Zertifikat enthalten ist. Das verschlüsselte Ergebnis wird im Block *ClientKeyExchange* an den Server übermittelt. Alternativ kann hier auch die Antwort auf einen vom Server initiierten Schlüsselaustausch erfolgen. Eine anschließende optionale Überprüfung des Serverzertifikats wird bei Verwendung eines WWW-Browsers (z.B. Netscape Navigator, Opera, Microsoft Internet Explorer) als Dialogfeld zur Bestätigung durch den Benutzer eingeblendet. Jede der beiden Seiten ist nun in der Lage, einen gemeinsamen, geheimen Schlüssel zu generieren mit dem bereits die folgende „Finished“ Nachricht des Clients an den Server verschlüsselt wird. Der Server antwortet darauf ebenfalls mit einer verschlüsselten Nachricht und signalisiert so die erfolgreiche Etablierung des gesicherten Transportkanals.

Um das implementierte Applet ausführen zu können, ist ein Webclient (Browser) mit SSL-Verschlüsselung notwendig, sowie serverseitig ein SSL-gestützter Webserver, der in Kapitel 4.3.6 näher spezifiziert wird.

4.3.4 Allgemeiner Ansatz zur Serversoftware

Die notwendige Software zum Betrieb der Serverkomponenten des zentralen Datenservers wurde ebenso wie bereits die Software der Visualisierungseinheiten in verschiedene Funktionsmodule zerlegt. Der Unterschied liegt dabei jedoch in der stärkeren Dienstorientierung der serverbasierten Komponenten. Die dabei zu bildenden Funktionsgruppen übernehmen die in Abbildung 4.40 dargestellten Aufgaben zur Kommunikation, Verschlüsselung, Datenaufbereitung und Datenreduktion.

Die einzelnen Datenkonzentratoren übertragen ihre segmentierten und verschlüsselten Sensordaten an den Server, welche dieser entgegennimmt und dem Block *Verschlüsselung* zuführt. Hier wird das Paket entschlüsselt und nach erfolgreicher Prüfung der Authentizität an den *Eingangsparser* übergeben. Ein „Parser“ ist dabei ein Teil einer Software, der einen ihm übergebenen Datenblock aufbricht und in einzelne Segmente nach bestimmten Kriterien zerlegt. Speziell in dieser Anwendung extrahiert der Funktionsblock die Datensätze, überprüft sie und leitet sie an den Funktionsblock *Datenspeicherung* weiter. Hier sind die Daten als zeitlicher Verlauf von Zählwerten gesichert. Der Dienst *Datenspeicherung* bietet jedoch zusätzliche Funktionen, die beispielsweise das Suchen nach bestimmten Datensätzen ermöglichen.

Auf die Verbrauchsdaten greift das Modul *Datenbereinigung* zu, das eine schrittweise Vergrößerung der zeitlichen Auflösung der gespeicherten Daten vornimmt.

Der *Visualisierungsgenerator* bedient sich ebenso des Dienstes *Datenspeicherung* und erstellt aus den dortigen Daten eine für Visualisierungszwecke

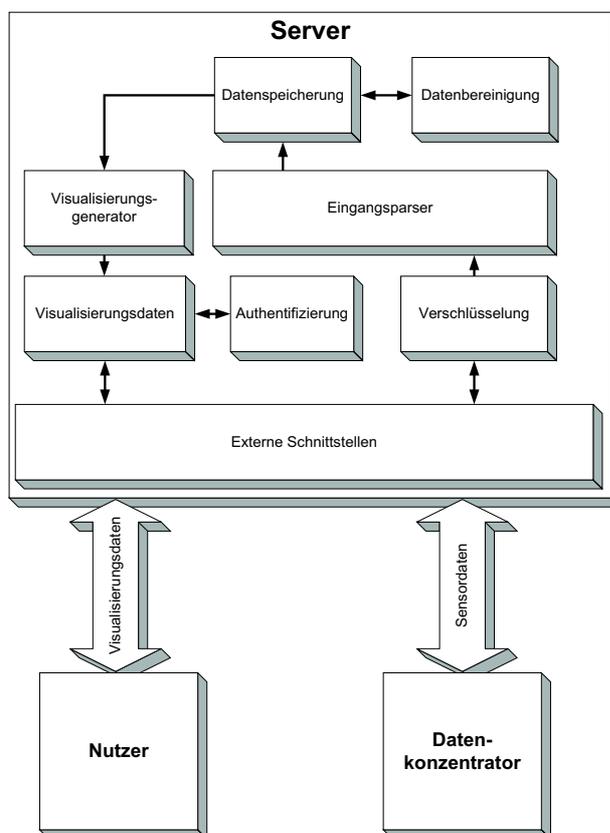


Abbildung 4.40: Funktionsmodule der Serversoftware

geeignete Form der Verbrauchsdaten. Diese aufbereiteten Verbrauchsdaten werden extern über einen Dienst *Visualisierungsdaten* zugänglich, der über ein Modul *Authentifizierung* die Identität des Abrufenden prüft.

Die Art der jeweils dargestellten Auswertung hängt bei dieser Konzeption lediglich von der Funktionsgruppe *Visualisierungsgenerator* ab, wodurch das Energiemonitoringsystem bei entsprechender Anforderung problemlos modifiziert oder erweitert werden kann.

4.3.5 Liegenschaftszentrale Realisierung der Serversoftware

Die Serversoftware des zentralen Datenservers wurde in der ersten Revision auf einem embedded PC unter C++ realisiert. Dabei wurde Wert darauf gelegt, die anfallenden Sensorwerte innerhalb einer Liegenschaft zu kanalisieren und auszuwerten. Die Verbindung zwischen den einzelnen Empfangs-

bzw. Visualisierungsstationen wurde mit Hilfe des Gebäudebussystems EIB realisiert. Die Gebäudezentrale in Form des embedded PC, betrieben mit WindowsCE Version 2.1, war für den Empfang, die Speicherung und Komprimierung sowie für die Aufbereitung der Sensordaten zuständig. Das Betriebssystem, die Software und die Sensordaten werden bei diesem System auf einem festplattenartig organisierten Flashspeicher („Flashdisk“) gehalten. Das Konzept wurde jedoch aufgrund der mangelnden Fernkonfigurationsmöglichkeiten und der sehr hohen Investitionskosten für Hard- und Software zu Gunsten der portablen, Internet-basierten Lösung nicht mehr weiter verfolgt.

4.3.6 Portable Realisierung der Serversoftware

Die ersten Schritte bei der Entwicklung der Serversoftware zeigten, dass der Ansatz der liegenschaftszentralen Datenkonzentratoren für eine größere Anzahl von Installationen zu aufwändig und zu unflexibel gewählt war. Eine zentrale Serverinstanz für alle angeschlossenen Liegenschaften ermöglicht die einfachere Wartung und entflechtet die entstandene Vernetzungsstruktur des Energiemonitoringsystems. Zwangsläufig bringt die Zentralisierung jedoch die Notwendigkeit der Einrichtung eines hochverfügbaren Servers durch mehrfache Redundanz in Hardware und Software mit sich, um den kontinuierlichen Betrieb gewährleisten zu können.

Überblick

Die zentrale Serveranwendung wurde in der plattformunabhängigen und objektorientierten Programmiersprache Java von Sun microsystems realisiert. Dabei spaltet sie sich in die beiden, in Abbildung 4.41 als gestrichelte Blöcke dargestellten, unabhängigen Einzelprogramme *Servlet* und *Applikation* auf. Das ebenfalls in der Abbildung dargestellte Modul *Webserver* wurde, um die Systembelastung des Servers im Betrieb so niedrig wie möglich zu halten, aus dem Programmcode ausgelagert und anstatt einer Java-Implementierung das native Webserverprodukt „Apache“ ([Apa02a]), entstanden als Open-Source-Projekt, eingesetzt. Zusätzlich zum eigentlichen Webserver ist ein Modul für die Ausführung von Java-Servlets sowie eines zur Integration der SSL-Verschlüsselung notwendig. Diese beiden Module erweitern die Möglichkeiten von Apache um die genannten Merkmale. Als Grundlage der Datenübertragung über das Internet muss im Betriebssystem der Serverplattform das TCP/IP-Protokoll verankert sein. Außer dem Webserver mit seinen Erweiterungsmodulen sind ein FTP Server, die eigentliche Java Virtual Machine und ein Dateisystem zum Betrieb der Serverkomponenten erforderlich. Obwohl es keine Schwierigkeit darstellen würde, den FTP-Server in die Java-Software

zu integrieren, wurde – wie schon beim Webserver – aus Gründen der Systemperformance und auch der Modularität des Gesamtsystems eine externe Lösung bevorzugt.

Zusätzlich zu den genannten externen Komponenten ist eine Datenbank zur Speicherung der Verbrauchsdaten notwendig. Als „Datenbanken“ wurden in den ersten Testphasen lediglich zeilenbasierte, serielle Dateien eingesetzt, die jedoch in den weiteren Entwicklungen durch die SQL-Datenbank „mySQL“ ([AWC⁺01]) ersetzt wurden. Durch den Einsatz der standardisierten Datenbankschnittstellen, nämlich „Java DataBase Connectivity“ bzw. „JDBC“ ([SUN00a]), wurde die Serversoftware nicht nur von der eigenen Hardwareplattform, sondern auch von der unterstützenden Datenbanksoftware vollkommen abgekoppelt. Durch die in JDBC implementierten Methoden ist es zudem möglich, die Datenbanksoftware auf einer gänzlich anderen Hard- und Softwareplattform zu betreiben, da die Verbindung zwischen der Datenbankschnittstelle und der eigentlichen Datenbank auf TCP/IP basiert.

Funktionsweise der Serverapplikation

Nach dem obigen Überblick über einzelne Module und die Systemanforderungen der Serveranwendung wird nun im folgenden die Funktionsweise dargestellt. Die Übertragung eines Paketes der Datenkonzentratoren zum Server erfolgt mittels des standardisierten FTP Protokolls in einen „Hotfolder“ auf dem Filesystem, der von der Serversoftware periodisch auf Inhalt geprüft wird. In diesen Hotfolder kann der zentrale Datenserver auch Konfigurationsinformationen für einzelne dezentrale Datenkonzentratoren in Form eines speziellen Datenpaketes ablegen, die bei der nächsten Verbindung von diesen empfangen werden. Die darin konfigurierbaren Parameter sind in Kapitel 5.3 aufgeführt. Falls ein Datenpaket eines Datenkonzentrators in den Hotfolder übertragen wurde, wird zuerst eine Überprüfung der Hardwareseriennummer des Clients mittels des Blocks *Benutzerverwaltung* vorgenommen. Dabei wird ermittelt, ob die empfangenen Daten von einem gültigen Datenkonzentrator stammen. Bei einer gültigen Übertragung wird die Datei dem Block *Verschlüsselung* übergeben, der das Paket entschlüsselt und die so erhaltenen Verbrauchsdaten dem *Eingangsparser für Verbrauchsdaten* übergeben. Dieser Funktionsblock extrahiert aus den einzelnen Datensätzen des übertragenen Pakets Übertragungszeitpunkt, Seriennummer und den jeweiligen Wert bzw. Zählerstand. Anschließend werden die im Paket enthaltenen Datensätze durch das Modul *Benutzerverwaltung* auf Authentizität geprüft, und zwar die übermittelten Seriennummern auf Gültigkeit und der Zählerstand auf Plausibilität. Da der Zählerstand nur anwachsen und niemals abnehmen kann, wurde ein Vergleich zwischen dem letzten übertragenen Wert und dem

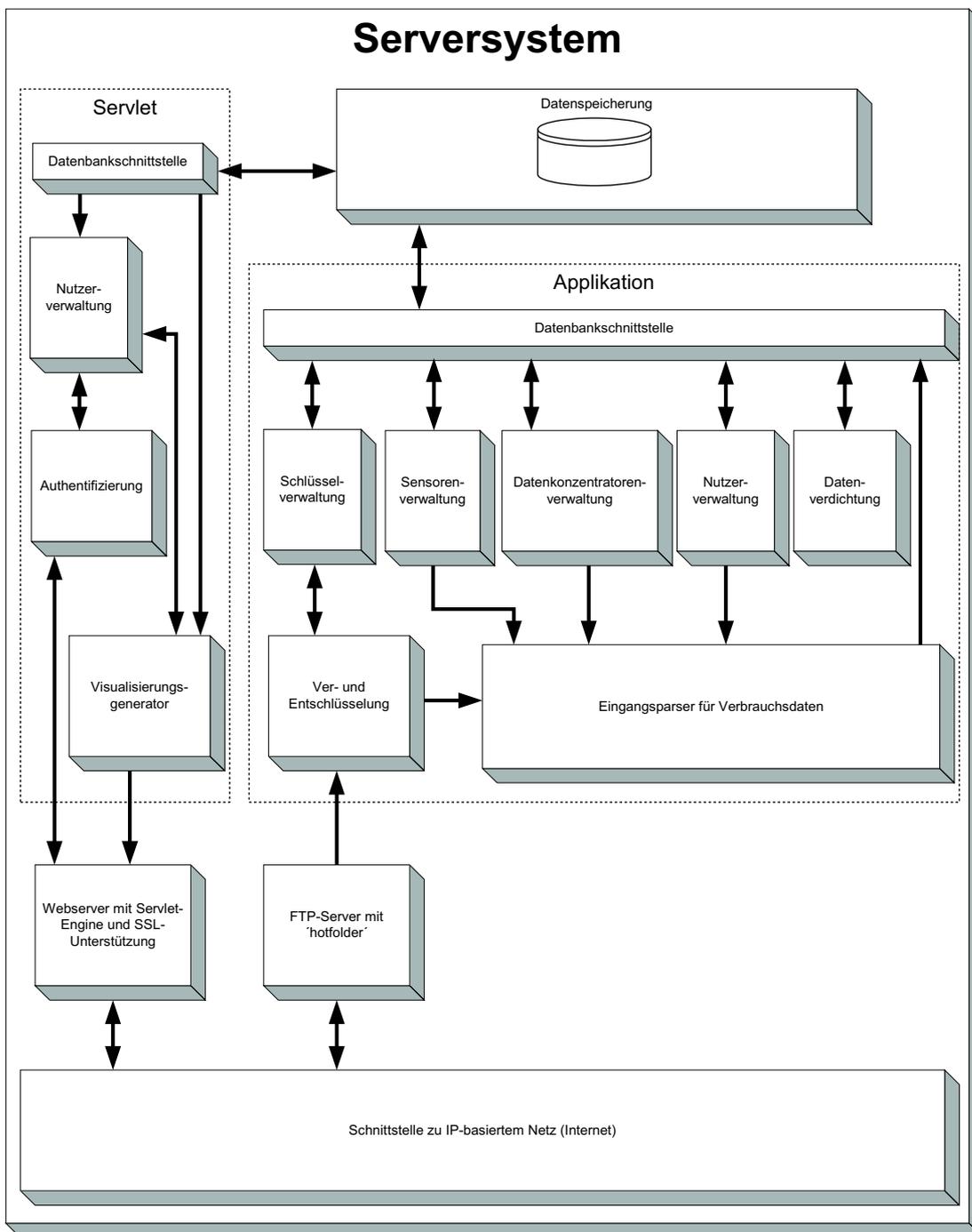


Abbildung 4.41: Interne Module der Java-Serverlösung

aktuellen gezogen, der bei einer negativen oder auch zu großen Differenz eine Warnmeldung ausgibt. In die Gültigkeitsprüfung fließt auch die Herkunft des Datenpaketes mit ein, da jede übermittelte Seriennummer nur von einem oder mehreren festgelegten Datenkonzentratoren übermittelt werden darf. Bei positiver Deklaration wird der bearbeitete Datensatz des Pakets in die Datenbank durch Absetzen eines entsprechenden SQL-Befehls eingebracht. Dabei wird für jeden einzelnen, eingetragenen Nutzer eine Verlaufstabelle in der Datenbank erstellt, die die eigentlichen Verbrauchsinformationen in Form von Übertragungszeitpunkt vom Sensor zum Datenkonzentrator, Sensorseriennummer als *long*-Wert und dem zugehörigen Zählerstand, ebenfalls unter Verwendung des Datentyps *long*, hält. Die übertragene Empfangszeit wird dabei auch als *long*-Wert im Format der standardisierten Java-Zeit dargestellt, eine genauere Variante der Unixzeit, bei der die Anzahl der vergangenen Millisekunden seit dem 01.01.1970, 0.00 Uhr GMT gezählt werden. Die hohe Auflösung dieses Zeitformates ist bei dieser Anwendung zwar nicht erforderlich, doch sind bereits viele Methoden von Java-Klassen auf dessen Verwendung ausgelegt, so dass die Entscheidung für die direkte Verwendung des Formates getroffen wurde.

Die in der Verlaufsdatenbank befindlichen Verbrauchswerte sind im vorliegenden Format noch wenig aussagekräftig und belegen auf Grund ihrer zeitlichen Auflösung viel Speicherplatz, weshalb Methoden zur Verdichtung und Aufbereitung der „Rohdaten“ erforderlich sind. Der dazu in der Serversoftware integrierte Block ist die *Datenverdichtung* und dient zur verlustbehafteten Kompression der Verbrauchswerte in der Datenbank.

Mit einer Periode von einem Tag wird die Verlaufsdatenbank von diesem Modul nach Werten abgesucht, die ein bestimmtes, konfigurierbares Alter überschritten haben und noch in einer zeitlichen Auflösung im Stundenbereich vorliegen. Beispielsweise würden zwei Werte des gleichen Sensors, die sowohl älter als einen Monat sind, als auch einen zeitlichen Abstand von weniger als 24 Stunden besitzen, gefunden werden. Diese Werte werden, wie in Abbildung 4.42 mit zusätzlicher Tageszeit dargestellt, aus der Datenbank entfernt, sodass nur noch Tageswerte in der Verlaufsdatenbank des jeweiligen Nutzers verbleiben. Der Grund dafür liegt in der besseren Vergleichbarkeit der Verbrauchswerte auf Tagesebene. Durch die Extrahierung der zusätzlichen Werte wird die zeitliche Auflösung der Verlaufsdatenbank zusammen mit dem Ressourcenbedarf auf dem Datenbanksystem verringert, maximal auf $\frac{1}{24}$ der vorherigen Datenmenge, da die statistisch verteilten, jedoch stündlich auftretenden Verbrauchsstände zu täglichen Werten jedes Sensors schrumpfen. Eine zweite Stufe der *Datenverdichtung* reduziert nach dem gleichen System wie die beschriebene erste Stufe die zeitliche Auflösung nach Überschreitung eines Datenalters von zwei Jahren von Tageswerten auf repräsentative

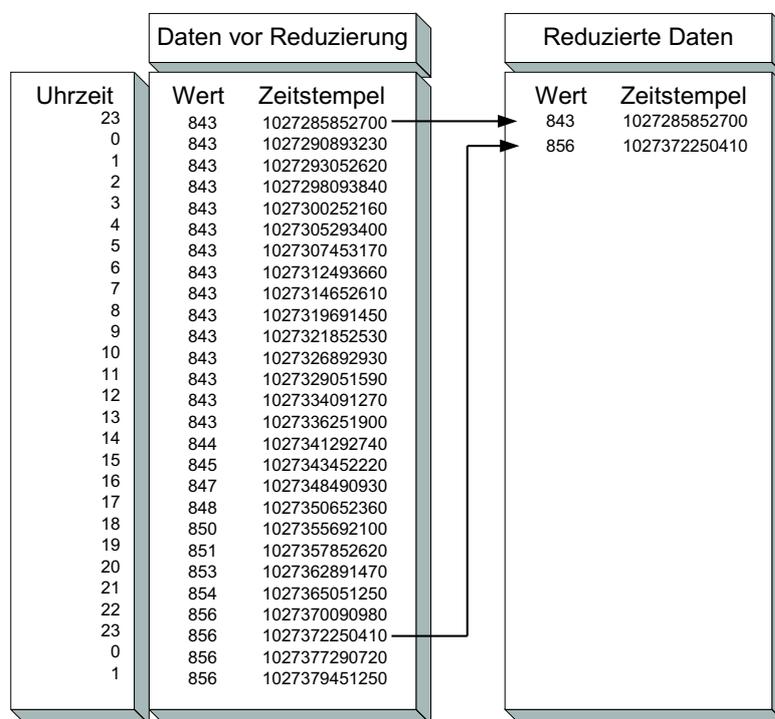


Abbildung 4.42: Prinzipdarstellung der Datenreduzierung

Wochenwerte. Zusätzlich zur Ausdünnung der Verbrauchsdaten erfüllt das Modul *Datenverdichtung* den Zweck der Überwachung der Sessontimer des Servlets. Beim Ablauf eines dieser Sessontimer, die die Zeit des letzten Zugriffs eines Nutzers widerspiegeln und in einer separaten Tabelle der Datenbank zusammen mit den zugehörigen „Session IDs“ gehalten werden, wird der gesamte Datensatz aus der Tabelle entfernt. Die Überprüfung dieser Tabelle wird periodisch in konfigurierbaren zeitlichen Abständen angestoßen, wobei der Standardwert auf 20 Minuten gesetzt wurde. Eine weitere in die Serverapplikation implementierte Zusatzfunktion ist die Überwachung der Sensoren und dezentralen Datenkonzentratoren. Falls von einem in der Datenbank erfassten Datenkonzentrator über eine bestimmte, konfigurierbare Zeitspanne, die standardmäßig zwei Tage beträgt, kein neues Datenpaket beim Server eintrifft, wird eine Defektmeldung ausgegeben. Analoges geschieht mit Sensoren, die in einem bestimmten Zeitraum (standardmäßig drei Tage) keinen Verbrauchswert mehr gesendet haben. Die für diese Funktionalität in der Datenbank angelegten Timerwerte werden periodisch zusammen mit den Sessontimern geprüft.

Funktionsweise des Servlets

Das zweite, auf die Verlaufsdaten der einzelnen Nutzer zugreifende Modul ist der *Visualisierungsgenerator*. Dieser Block produziert aus den Verlaufsdaten eine visualisierungsfähige, temporäre Tabelle, die dem beim Nutzer instanziierten Visualisierungsklient übergeben wird. Dabei wurde das Modul von der eigentlichen Server- und Datenverwaltungssoftware abgetrennt und als eigenständiger Prozess auf dem Webserversystem realisiert, da es zum einen nicht sinnvoll ist, die je nach Auswertung vielfältig gearteten Visualisierungsdaten für jeden Nutzer periodisch zu produzieren und vorzuhalten, da dies unnötig Rechenzeit und Speicherplatz kosten würde. Zum zweiten spielen bei der Trennung der Softwaremodule in mehrere Prozesse Sicherheitsaspekte eine große Rolle, da der Prozess des Visualisierungsgenerators sowohl mit dem Nutzer, als auch der Datenbank interagiert, und der wichtige und zuverlässig arbeitende Serverprozess für die Entgegennahme der Sensordaten verantwortlich ist. Die Separierung dieser Aufgaben in verschiedene Systemprozesse ermöglicht so auch die Ausführung derselben auf physikalisch unterschiedlichen und spezialisierten Systemen, was zum dritten eine äußerst variable und nahezu beliebig skalierbare Lösung erlaubt.

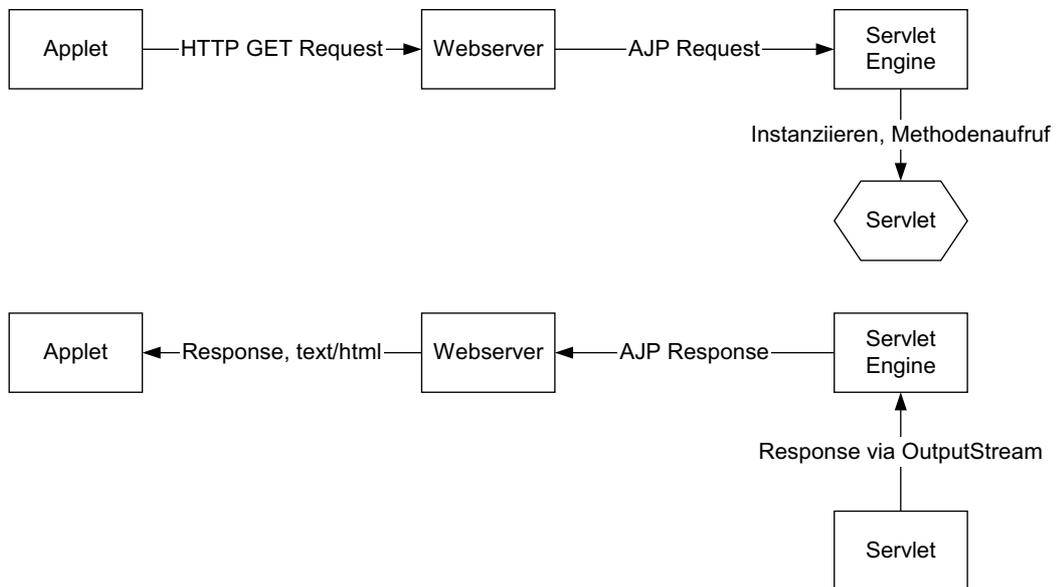


Abbildung 4.43: Aufruf des Servlets

Der *Visualisierungsgenerator* selbst ist mit einer eigenen Datenzugriffsklasse unter Verwendung von JDBC ausgestattet und als sogenannte „Servlet“-

Anwendung realisiert, deren Verhalten einem CGI-Programm zur Generierung von dynamischen Webinhalten ähnelt. Zur Ausführung von Servlets ist jedoch eine „Servlet-Engine“, eine erweiterte Java Virtual Machine, notwendig (Abbildung 4.43). Als entsprechendes Werkzeug wurde hier die Servlet-Engine „Tomcat“ aus dem „Jakarta“-Projekt ([Apa02b]) der „Apache Software Foundation“ eingesetzt. Tomcat stellt dabei einen Container bereit, in dem Servlets und Java Server Pages (JSP) lauffähig sind und sogenannte „Connectors“, die Kommunikationsschnittstellen zu externen Applikationen (wie Apache) bereitstellen. Im Apache Webserver muss schließlich noch ein zusätzliches Modul (*mod_jk.so*) integriert werden, um die Verbindung zum Connector von Tomcat zu erhalten. Die Kommunikation zwischen Webserver und Servlet-Engine erfolgt dabei über das AJP1.3 Protokoll, das einen serverinternen TCP/IP Kanal erfordert. Apache erkennt an spezifischen Schlüsselworten in URLs (z.B. „http://www.host.de/servlet/...“), dass es sich um eine Anfrage an ein Servlet handelt und leitet diese Anfrage über die AJP-Verbindung an das in Tomcat laufende Servlet weiter. Nach der Erzeugung und Rückübertragung der angeforderten Daten an das Nutzerprogramm wird die HTTP-Verbindung automatisch wieder geschlossen, der *Visualisierungs-generator* in Form des Servlets bleibt jedoch noch auf dem Server instanziiert, um weitere auftretende Anfragen beliebiger Nutzer anzunehmen. Dieses Verhalten ermöglicht eine wesentlich schnellere Ausführungs- und Antwortzeit auf Anfragen als bei vergleichbaren CGI-Programmen. Dies ist dadurch zu erklären, dass bei CGI-Skripts im Fall der am häufigsten anzutreffenden Skriptsprache „Perl“ bei jeder Anfrage der Interpreter geladen werden muss, bei Servlets hingegen die Anwendungsumgebung nur beim ersten Aufruf geladen wird. Bei jedem weiteren „Request“ wird lediglich nur ein neuer Ausführungspfad („Thread“) des bereits instanziierten Servlets durchlaufen. Ein weiterer Vorteil von Servlets gegenüber anderen CGI-Techniken besteht in der Möglichkeit, persistente Objekte anzulegen, also Objekte, die eine Anfrage überdauern und wiederverwendbar sind. Gerade beim Zugriff auf eine Datenbank ist dieses Verhalten wünschenswert, da die Verbindung zur Datenbank erhalten bleiben kann und so ein zusätzlicher Gewinn an Performance möglich ist.

Der Kommunikationsablauf zwischen Nutzerapplet (siehe Kapitel 4.3.3) und dem serverseitigen Visualisierungsgenerator (Servlet) erfolgt trotz der SSL-basierten Verschlüsselung auf dem Übertragungsweg für die beiden Endpunkte vollkommen transparent und soll im folgenden beispielhaft erläutert werden. Nach Eingabe der Authentifizierungsdaten in den Dialog im Applet werden diese über eine „login“-Anfrage an das Servlet gesendet. Nach einer positiven Überprüfung von Nutzernamen und Passwort in der Datenbank wird dieser Anfragesitzung eine einmalige „Session-ID“ zugewiesen, eine Kennzahl

für weitere, zeitnahe Anfragen desselben Nutzers. Die Antwort auf die login-Anfrage besteht aus dieser Kennzahl und dem realen, in der Datenbank gespeicherten Namen des Nutzers. Die nächsten vom Applet kommenden Anfragen können vom Typ „report“ oder „logout“ sein.

Bei der Anfrage „logout“ wird die Verknüpfung der Session-ID mit dem Nutzer aufgehoben und die einmalige ID gelöscht, die Visualisierungssitzung des Nutzers somit beendet. Durch die Zuordnung der Zeit des letzten Zugriffs zur jeweiligen Session-ID wird bei jedem Request eines Nutzers ein Timer aufgezogen, dessen Ablauf periodisch durch die Serverapplikation geprüft wird. Bei Ablauf eines solchen Sessiontimers wird die Session-ID automatisch aus der Datenbank entfernt und somit die Visualisierungssitzung durch Zeitüberschreitung beendet.

Die Anfrage des Typs „report“ fordert vom Servlet eine Auswertung an, die abhängig vom übergebenen Auswertungstyp als Rückgabewert entweder nur die aktuellen Sensorzählerstände des Nutzers oder den tatsächlichen Verbrauch innerhalb eines bestimmten Zeitraums umfasst. Das Servlet bearbeitet dabei die gestellte Anfrage durch Datenbankabfragen und mathematische Verknüpfung der Verbrauchswerte (Summationen, Differenzbildung, etc.). Die Möglichkeiten der Auswertungen beschränken sich gegenwärtig auf die Abfrage der aktuellen Zählerstände des jeweiligen Nutzers, der Abfrage der Verbräuche innerhalb eines bestimmten Zeitraumes bezogen auf den Sensor, auf einzelne Räume und auf die gesamte Nutzereinheit (z.B. die gesamte Wohnung des Nutzers). In jeder Antwort auf eine „report“-Anfrage werden zusätzlich zu den eigentlichen Zählwerten zur Zuordnung derselben und zur Darstellung einer Legende der Ort der Sensoren (z.B. Wohnzimmer, Bad, etc.) übermittelt. Bei Nichtvorhandensein eines für eine Auswertung benötigten Sensorwertes, beispielsweise wurde auf Grund von Funkstörungen von einem Sensor innerhalb eines Tages kein Wert korrekt übertragen, wird der fehlende Auswertungswert nicht aus anderen Werten errechnet, da eine eventuelle Interpolation zwischen zwei Verbrauchswerten außerhalb des Auswertungszeitraumes eine zeitliche Auflösung der Messungen vorspiegeln könnte, die nicht vorhanden ist.

4.3.7 Schnittstellen der Softwaremodule

Die Schnittstellen der verschiedenen Softwaremodule im Gesamtsystem sind auf Grund der äußerst unterschiedlichen Architektur der einzelnen Subsysteme ebenfalls sehr unterschiedlich. Trotzdem wurde bei der Entwicklung großer Wert auf ein offenes System gelegt, nicht nur durch Nutzung von Objektorientierung, sondern auch durch ein hohes Maß an Modularität. Gerade im Bereich der Verbrauchsdatenvisualisierung über das Internet (siehe Kapi-

tel 4.3.3) wurden möglichst viele Verbindungen von einzelnen Modulen über standardisierte Methoden und Protokolle realisiert. Innerhalb der Softwarekomponenten auf Basis von Java wurde auf eine „saubere“ Klassenhierarchie geachtet, bei der lediglich Interfaces, Methodenaufrufe und Referenzübergaben zur gegenseitigen Kommunikation genutzt wurden. Standardprotokolle kommen beim Datenaustausch zwischen den Softwarekomponenten zum Einsatz. Im einzelnen sind dies die Kommunikation zwischen Visualisierungsapplet und Webserver (HTTP – über SSL – über TCP/IP) sowie zwischen Webserver und Servlet (AJP1.3 über TCP/IP). Ebenso wie die Verbindungen auf der Nutzerseite, fußt auch die Datenverbindung zwischen den Datenkonzentratoren und dem zentralen Server auf dem Protokoll TCP/IP (FTP über TCP/IP). Die auf dem Serversystem eingesetzte SQL-Datenbank „mySQL“ wird zudem sowohl von der Serverapplikation, als auch vom Servlet aus über die JDBC-Klassen via einer TCP/IP-Verbindung bedient. Besonders die Verbindung der Serverkomponenten über ein solches Standardprotokoll ermöglicht nicht nur eine logische Trennung der Programmmodule, sondern auch eine physische. Dies bedeutet eine große Skalierbarkeit, die gerade bei Internet-Anwendungen mit vorher nicht absehbarer Nutzerzahl große Vorteile in der Erweiterung, beispielsweise durch Einbringen zusätzlicher Webserver mit Servlet-Engine, mit sich bringt.

4.4 Fehlerbetrachtungen

Beim Entwurf eines technischen Systems müssen mögliche Fehler und deren Auswirkungen untersucht werden. Dies wird im folgenden für das Energiemonitoringsystem durchgeführt, wobei Komponentenfehler, Fehler bei der Datenübertragung und systematische Fehler betrachtet werden.

4.4.1 Komponentenfehler

Bei einem Bauteileausfall in einer Komponente des Energiemonitoringsystems wird deren Funktion zumindest teilweise eingeschränkt, im schlechtesten Fall erfolgt ein Ausfall der Komponente. Die jeweiligen Ausfallszenarien von Systemkomponenten und die sich daraus ergebenden Verfügbarkeiten wurden bereits in Kapitel 4.1.2 erläutert.

4.4.2 Übertragungsfehler

Zufällige Fehler bei der Übertragung von Daten können in den betrachteten Systementwürfen an verschiedenen Stellen auftreten. Dies ist sowohl bei der

Übertragung der Sensordaten an die Visualisierungseinheit bzw. den Datenkonzentrator möglich, als auch auf der Strecke zwischen Datenkonzentrator und zentraler Komponente (Hauszentrale bzw. Datenserver). Bei der Internetvisualisierung sind zudem Fehler in der Verbindung zwischen Datenserver und der Visualisierung möglich. Da jede der genannten Datenübertragungen ein anderes Protokoll verwendet, muss die Sicherung gegen Fehler in der Verbindung jeweils einzeln betrachtet werden.

One-Wire-Protokoll

Bei der Anbindung von Standardzählern mit dem in Kapitel 4.2.2 beschriebenen One-Wire-Modul kommt eine CRC-Prüfsumme von 2 Byte Länge zum Einsatz, deren Algorithmus auf CRC-16 [Hal95, S.134 und 240] beruht. Der CRC Code mit der Hammingdistanz $d = 4$ wird zur Erkennung multipler Fehler genutzt, eine Fehlerbehebung ist bei CRCs jedoch nicht gebräuchlich. Die Überprüfung der CRC-Bytes erfolgt in der Software zur Telegrammauswertung. Falls der übermittelte CRC-Wert nicht mit dem aus den Telegrammbytes generierten übereinstimmt, wird das empfangene Telegramm verworfen und die Übertragung erneut angefordert.

ATEM-Protokoll

Auf der Übertragungsstrecke zwischen den Sensoren und dem jeweiligen Empfänger findet bei den verwendeten Heizkostenverteiltern und Wärmezählern das in Kapitel 2.3 erwähnte ATEM-Protokoll Anwendung. Das Protokoll enthält pro übertragenem Datenblock von 16 Byte eine CRC-Prüfsumme von 2 Byte, deren Algorithmus eine Abwandlung des standardisierten CRC-16 darstellt. Die Überprüfung der CRC-Bytes erfolgt wie bereits beim 1-Wire Protokoll in der Software. Falls der übermittelte CRC-Wert nicht mit dem aus den Telegrammbytes generierten übereinstimmt, wird das empfangene Telegramm verworfen und es muss auf die nächste Übertragung gewartet werden.

EIB-Protokoll

Fehler in der Datenübertragung auf dem EIB können durch das mitgeführte Byte für die Telegrammlänge und durch eine Prüfsumme am Telegrammende erkannt werden. Diese Prüfsumme wird durch eine Kreuzsicherung (Hammingdistanz $d = 4$) über die Telegrammbytes gebildet. Ein Buskopppler verifiziert in Layer 2 (Sicherheitsschicht) automatisch die Richtigkeit der Prüfsumme beim Empfang des Telegramms und antwortet dem Sender im

Fehlerfall mit einem *NACK* (Not acknowledge) statt eines *ACK* (Acknowledge). Das betroffene Telegramm wird anschließend vom Sender wiederholt.

TCP/IP-Protokoll

Alle Übertragungstrecken des Energiemonitoringsystems, die auf dem TCP/IP-Protokoll aufsetzen sind durch die Verbindungs- und Transportmechanismen der IP- und TCP-Schicht gegen Übertragungsfehler geschützt. Bereits über den Header eines IP-Datagramms wird eine CRC-Prüfsumme gebildet und deren Gültigkeit in der Netzwerkschicht (Layer 3, IP) geprüft. Die Pakete der Transportschicht (Layer 4, TCP) verfügen jeweils über eine eigene Prüfsumme über das gesamte Paket, die im Layer geprüft wird. Im Fehlerfall wird die Übertragung des Pakets wiederholt. Für die Schichten, die auf dem TCP-Layer aufbauen, ist der von der Transportschicht aufgebaute Datenkanal vollkommen transparent.

4.4.3 Systematische Fehler

Systematische Fehler treten im entwickelten Energiemonitoringsystem in Form von Differenzen zwischen dem visualisierten Wert und dem Anzeigewert des Zählers auf, die durch verschiedene Ursachen entstehen können. Bei Ankopplung eines Standardzählers über die Impulsschnittstelle kann eine Differenz zwischen dem Rollenzählwerk und der Visualisierung auftreten, die in der Ankopplung und Auslösung der Impulsschnittstelle sowie der Genauigkeit des mechanischen Zählwerks begründet ist. Die Aufsummierung der Impulse über längere Zeit erzeugt dabei eine „sichtbare“ Abweichung aus der geringen Gangtoleranz zwischen Impulsausgang und Rollenzählwerk.

Eine weitaus bedeutendere Ursache für eine Differenz zwischen visualisiertem Wert und Anzeigewert sind die systemimmanenten Totzeiten. Diese entstehen bei der Datenübertragung zwischen einzelnen Komponenten zu diskreten Zeitpunkten und sollen im folgenden beispielhaft anhand des serverbasierten Systemansatzes unter Einbeziehung von Heizkostenverteilern als Sensoren dargestellt werden.

Die Sensoren senden lediglich einmal pro Stunde ihren aktuellen Zählwert an den Datenkonzentrator. Der Datenkonzentrator überträgt in bestimmten, zentral vorgegebenen zeitlichen Abständen sein Datenpaket in den „Hotfolder“ des Servers (Abbildung 4.44). Die Serversoftware prüft periodisch den Inhalt des „Hotfolders“ und nimmt die dort eingestellten Datenpakete entgegen. Die genannten Transaktionen führen zu einer Gesamtverzögerung vom Anfallen eines neuen Messwertes bis zur Aktualisierung der Datenbank. Um

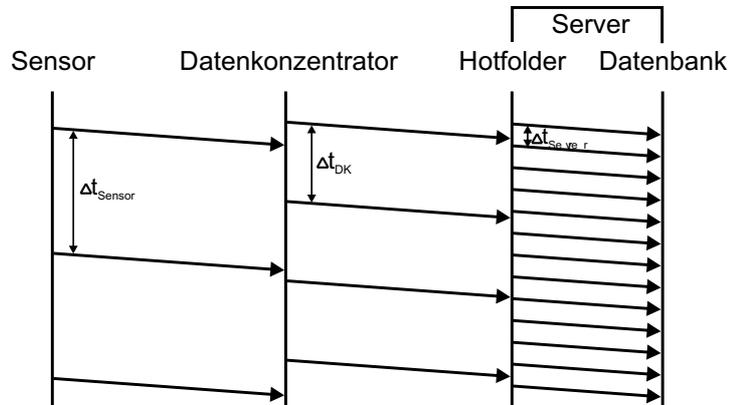


Abbildung 4.44: Totzeiten bei der Datenübertragung

die maximale Verzögerung ermitteln zu können, werden die in Tabelle 4.2 aufgeführten Annahmen getroffen und die aufgeführten Symbole verwendet.

Ausdruck	Bedeutung bzw. Annahme
$\Delta t_{Sensor} = 1h$	Mittlere Zeitspanne zw. zwei Sensordatenübertragungen
$\Delta t_{DK} = 20min$	Mittlerer zeitl. Abstand zweier Datenkonzentratorpakete
$\Delta t_{Server} = 5min$	Periodendauer der „Hotfolder“-Überprüfung
Δt_{Gesamt}	Gesamte, maximale Verzögerung

Tabelle 4.2: Verwendete Bezeichnungen und Annahmen bei Anzeigefehlern

Um Funkstörungen zu vermeiden sind die tatsächlichen Sendezeitpunkte der Heizkostenverteiler statistisch verteilt, weshalb mit der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Übertragungen gerechnet wird. Die Datenübertragungszeitpunkte der einzelnen Datenkonzentratoren können vom Server bestimmt werden und sind bei einem produktiven Einsatz von der Auslastung und der Zahl der „angeschlossenen“ Datenkonzentratoren abhängig. Zum Test im Labor wurde ein Senderhythmus von 20 Minuten konfiguriert, ebenso wie eine Periodendauer von 5 Minuten für die Überprüfung des „Hotfolders“ durch die Serversoftware. Der maximale zeitliche Versatz zwischen Entstehung eines Messwertes (Umschlagen des Zählers im HKV) und des Erscheinens in der Visualisierung ist in Gleichung 4.12 angegeben und entspricht der Summe aller Zeitspannen.

$$\begin{aligned}\Delta t_{Gesamt} &= \Delta t_{Sensor} + \Delta t_{DK} + \Delta t_{Server} \\ &= 1h + 20min + 5min = 1h25min\end{aligned}\tag{4.12}$$

Den größten Anteil an der „Totzeit“ in der Datenübertragung und damit am entstehenden Anzeigefehler hat die Strecke zwischen der Messeinrichtung und dem Datenkonzentrator. Da sich der Senderhythmus der verwendeten Heizkostenverteiler bzw. Wärmezähler nicht auf geringere Werte als 1h einstellen lässt, muss bei einer gewünschten Verringerung des Anzeigefehlers eine andere Sensorik eingesetzt werden. Eine solche ist jedoch in Form eines zugelassenen Zählers bislang nicht erhältlich.

Die beschriebene Anzeigedifferenz durch Messwertverschleppung auf der Übertragungsstrecke ist systemimmanent, kann jedoch durch die Mitführung eines Zeitstempels und auch die Anzeige des zeitlichen Kontexts der Verbräuche in der Visualisierung gekennzeichnet werden.

4.5 Energieverbrauch des Systems

Beim Einsatz von Systemen, die zur Einsparung von Energie dienen sollen, muss die für den Betrieb des Systems aufzuwendende (elektrische) Energie in einem vernünftigen Verhältnis zur möglichen Einsparung stehen. Da ein Energiemonitoringsystem den Nutzer nur auf einen hohen Energieverbrauch hinweisen und nicht selbst eingreifen kann, ist die mögliche Einsparung vom Verhalten des Nutzers nach Kenntnis seiner aktuellen Verbrauchssituation abhängig. Die Verbrauchswerte der einzelnen Komponenten bezogen auf ein Jahr sind in Tabelle 4.3 aufgeführt, wobei die Scheinleistungswerte P_S an der Schnittstelle zum 230V Netz gemessen wurden und somit die Verluste der Netztransformatoren einschließen. Die aufgenommene Leistung des Serversystems schwankt sehr stark je nach Ausführung der Hardware sowie Belastung durch Zugriffe und wurde deshalb im Mittel zu 400W angenommen. Bei der Abschätzung des Energieaufwands zum Betrieb der Internetvisualisierung wurde angenommen, dass der nutzereigene PC zu Visualisierungszwecken 15 Minuten pro Tag an 100 Tagen im Jahr Verwendung findet, was einer Einschaltdauer von 0,285% entspricht. Die Leistungsaufnahme der zusätzlich notwendigen Vernetzungskomponenten (Hausbussystem, Netzwerk, WAN etc.) wurde in der Tabelle nicht berücksichtigt, da diese von Anzahl und Typ der betrachteten Netzkomponenten, der Zahl der daran angeschlossenen Nutzer und nicht zuletzt auch der jeweiligen Auslastung abhängt, zu der der

Datentransfer des Energiemonitoringsystems bei einer ohnehin bestehenden Internetverbindung nur marginal beiträgt.

Komponente	P_S	ED	W_a
Graf. Visual. ohne LCD-Beleuchtung	2W	100%	17,52 kWh
Graf. Visual. mit LCD-Beleuchtung	6W	100%	52,56 kWh
Textbas. Visual. ohne LCD-Beleuchtung	3W	100%	26,28 kWh
Textbas. Visual. mit LCD-Beleuchtung	6W	100%	52,56 kWh
Dezentraler Datenkonzentrator	3W	100%	26,28 kWh
Hauszentrale	16W	100%	140,16 kWh
Serversystem	400W	100%	3.504,00 kWh
Internetvisualisierung	500W	0,285%	12,48 kWh

Tabelle 4.3: Scheinleistungsaufnahme und jährlicher Energieverbrauch

In Anbetracht der großen Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch führt bereits eine geringe Änderung der Nutzung zu einer drastischen Einsparung besonders im Bereich Heizung und Warmwasserbereitung. Die Bandbreite der möglichen Einsparung wird in [Müg93a] deutlich aufgezeigt. In dieser Dissertation an der Universität Berlin wurden 48 baugleiche Einfamilienhäuser bezüglich ihres Heizwärmeverbrauchs verglichen, wobei der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Verbrauch bei etwa 150% lag. Die Verbrauchsschwankungen, hervorgerufen durch das Nutzerverhalten, liegen bei Wohnungen dabei noch höher ([Müg93a]). Bei einem mittleren Heizenergieverbrauch von (mindestens) $200 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ in Deutschland ([Ste00, S.80]) erhält man bei einer $50m^2$ Wohnung einen jährlichen Energieverbrauch von $10.000kWh$. Eine mögliche Einsparung von lediglich 5% durch Änderung des Nutzerverhaltens ergäbe somit für diese Wohnung $500kWh$ weniger Verbrauch. Im folgenden soll eine jährliche Einsparung in dieser Höhe angenommen werden und darauf aufbauend die Mindestanzahl der „sparenden“ Nutzer N_N ermittelt werden, die zum energetisch ausgeglichenen Betrieb des Monitoringsystems am Beispiel der Internetvisualisierung erforderlich ist. Dabei wird die Anzahl der Nutzer, deren Messwerte über einen Datenkonzentrator erfasst werden, zu $N_{N,DK} = 10$ angenommen.

Um einen direkten Vergleich zwischen Einsparung an Heizenergie ($Q_{Einspar}$) und dafür aufgewendeter elektrischer Energie durchführen zu können, muss diese mit dem Primärenergiefaktor $k_{PE} = 3,0$ ([Deu01]) gewichtet werden. Da die betrachteten Systemkomponenten lediglich Energie in Form von Elektrizität benötigen, sind alle Energieverbräuche des Systems mit diesem Faktor zu multiplizieren (Gleichung 4.13).

Ausdruck	Dimension	Bedeutung
N_N		Anzahl der einsparenden Nutzer
$N_{N,DK}$		Anzahl der Nutzer pro Datenkonzentrator
$Q_{Einspar}$	kWh	Pro Nutzer und Jahr eingesparte Heizenergie
W_{Server}	kWh	Energieverbrauch des Serversystems pro Jahr
W_{DK}	kWh	Energieverbrauch eines Datenkonzentrators pro Jahr
W_{Vis}	kWh	Energieverbrauch einer Visualisierungsstelle pro Jahr
k_{PE}		Primärenergiefaktor für elektrische Energie

Tabelle 4.4: Verwendete Bezeichnungen zur Abschätzung der Rentabilität

$$\begin{aligned}
 N_N \cdot Q_{Einspar} &= \left(W_{Server} + \frac{N_N}{N_{N,DK}} \cdot W_{DK} + N_N \cdot W_{Vis} \right) \cdot k_{PE} \\
 &\Rightarrow N_N = \frac{W_{Server}}{\frac{Q_{Einspar}}{k_{PE}} - \frac{W_{DK}}{N_{N,DK}} - W_{Vis}}
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

Bei Verwendung der in Tabelle 4.3 angegebenen Zahlen:

$$N_N = \frac{3.504,00kWh}{\frac{500,00kWh}{3} - \frac{26,28kWh}{10} - 12,48kWh} = 23,12
 \tag{4.14}$$

Die in Gleichung 4.14 angegebenen 23,12 (also mindestens 24) notwendigen Nutzer, damit das System energetisch rentabel arbeitet, berücksichtigt den Verbrauch der Datenkonzentratoren in Bezug auf die Nutzerzahl, jedoch noch keinen zusätzlich erforderlichen Energieaufwand für Netzwerkinfrastruktur wie Internetzugänge und -knotenpunkte. Dieser ist sehr schwierig abzuschätzen, da die aufgebaute Datenverbindung zeitweise lediglich einen kleinen Teil der im Internet verfügbaren Bandbreite zur Datenübertragung benötigt. Grundsätzlich zeigt die obige Abschätzung jedoch, dass bereits bei einer geringen Zahl von Nutzern und daraus resultierenden Einsparungen das Energiemonitoringsystem energetisch wirtschaftlich arbeitet. Dabei ist die untersuchte Systemstruktur mit Internetvisualisierung besonders für große Liegenschaften mit vielen Nutzern interessant, da die Verbräuche vieler Nutzer über wenige Datenkonzentratoren erfasst werden können. Für den Einsatz in einem Einfamilienhaus dagegen erscheint eine dezentrale Lösung mit einer einzelnen Visualisierungseinheit energetisch sinnvoller, obwohl hier der Mehrwert des Providers in Form von zeitlich gut aufgelösten Verbrauchsdaten wegfällt.

4.6 Zusammenfassung

Die vorgestellten Systeme zum Energiemonitoring wurden in mehreren Schritten entwickelt und deren Praktikabilität und Chancen unter verschiedenen Gesichtspunkten beleuchtet. Die untersuchten Ansätze zur Systemstruktur differieren dabei in der Nutzung eines physikalischen Gerätes, hier einer Visualisierungseinheit, die alleine oder im Verbund, vernetzt über einen Feldbus (Konnex, EIB) oder ein Computernetzwerk (TCP/IP über Ethernet), die von den Sensoren gelieferten Verbrauchswerte anzeigt.

Die Systemstruktur unter Verwendung einzelner, nicht vernetzter Visualisierungskomponenten bietet dem Nutzer zusätzlich zu einer Grundfunktionalität der Darstellung seines Verbrauchs, eine grafisch aufbereitete und übersichtliche Anzeige, basierend auf zeitnahen Messwerten. Der Provider muss jedoch ohne eine zusätzliche Fernübertragung der Verbrauchsdaten weiterhin die Zähler manuell ablesen, für ihn ergibt sich durch dieses System keinerlei „Mehrwert“. Die Vorteile der nicht erforderlichen Vernetzungs-Infrastruktur, der Spezialisierung des Gerätes und der geringen Ausfallwahrscheinlichkeit des „Gesamtsystems“ wird durch die Nachteile der fehlenden Flexibilität, der (Online-) Wartung, dem nicht vorhandenen Marktanreiz für den Provider und nicht zuletzt den hohen Kosten für die Einheit selbst wieder aufgewogen.

Durch die Ankopplung der Visualisierungsgeräte an ein Gebäudebussystem wie EIB bzw. Konnex wird es möglich, die Verbrauchsinformationen einer Liegenschaftszentrale zuzuführen, die eine erweiterte Datenspeicherung und auch komplexere Auswertungen sowie Vergleiche mit beispielsweise klimabereinigten Vorjahreswerten durchgeführt. Der liegenschaftszentrale Datensammler dient dem Provider zudem zur Sammelablesung der gesamten Liegenschaft und bietet durch seine Datenhaltung beispielsweise im Falle eines Sensorausfalls eine zusätzliche Basis für eine genauere Abrechnung statt der bislang erfolgenden Schätzung des Verbrauchs. Die Nachteile des Systems sind nicht nur in der notwendigen Vernetzungsinfrastruktur des gesamten Gebäudes begründet, sondern auch in den Kosten für die zusätzlich benötigte liegenschaftszentrale Hardwarekomponente. Neben der verringerten Verfügbarkeit des Gesamtsystems durch die Vernetzung und den Datensammler, sind auch auftretende Probleme bezüglich des Datenschutzes zu betrachten, wie beispielsweise die unverschlüsselte Übertragung der Verbrauchsdaten über das EIB-System, das a priori über keinerlei Chiffrierfunktionen verfügt und durch die Auslegung als Bussystem an jedem Anschlusspunkt alle übertragenen Informationen zur Verfügung stellt. Der Mehrwert eines solchen Systems im Vergleich zu bisherigen Lösungen liegt in der Vernetzung. Durch die zentrale Datenerfassung im Gebäude ist es nicht nur möglich, Defekte an Sensoren und Visualisierungseinheiten zu erkennen, sondern auch mani-

pulative Eingriffe aufzudecken und in jedem der beiden Fälle eine genaue Protokollierung der Vorgänge bzw. Bustelegramme durchzuführen.

Der letzte untersuchte Ansatz stellt ein zentral arbeitendes System mit in den Liegenschaften lokalisierten Datenkonzentratoren und zentralen, providerseitigen Serverkomponenten dar, zwischen denen Verbindungen zur Datenfernübertragung bestehen. Die nutzerseitige Visualisierung besteht aus einer reinen Softwarelösung, die zur Laufzeit vom Server des Serviceproviders geladen wird. Die hohe, durch den zentralen Ansatz entstehende Ausfallwahrscheinlichkeit des Gesamtsystems kann in Anbetracht der niedrigen Investitionskosten für die Visualisierung durch hochverfügbare und redundant ausgelegte Serversysteme kompensiert werden. Die in der auszurüstenden Liegenschaft notwendigen Datenkonzentratoren bieten Fernwartungs- und Fernladefähigkeiten und geben dem Provider, abgesehen von erweiterten, jederzeit durchführbaren Abrechnungen, zusätzlich die Möglichkeit, zeitlich fein aufgelöste Verbrauchsdaten zu statistischen Auswertungen heranzuziehen. Ein proaktives Erkennen von Gebäudeschwächen und fehlerhaft arbeitenden Sensoren ist so möglich. Durch die zusätzlich implementierten Funktionen der Ausfallerkennung bei Datenkonzentratoren und Sensoren kann der Serviceprovider eine gesteuerte Wartung des Systems bei Ausfall einzelner Komponenten durchführen. Wartungszyklen können so vergrößert und Unannehmlichkeiten beim Nutzer wie notwendige Anwesenheit wegen Ablesung, Funktionskontrolle, etc. vermieden werden. Diese Konzeption bietet im Vergleich zum Stand der Technik entscheidende Vorteile in der Modularität von Komponenten wie Visualisierung und Datenkonzentration. Durch die sofortige Austauschbarkeit der Visualisierungsmodule eröffnen sich dem Nutzer wie dem Provider vielfältige und kostengünstig realisierbare Möglichkeiten der Verbrauchsdarstellung. Der große Nachteil des Internetsystems mit zentraler Komponente ist die nötige Internetverbindung in der Nutzeinheit zur Übertragung der im Datenkonzentrator gespeicherten Sensordaten an den Server. Jedoch relativiert sich dieser Kostenfaktor im Hinblick auf die geringen geforderten Bandbreiten und auf flächendeckende, breitbandige „always-on“-Verbindungen wie beispielsweise verschiedene DSL-Varianten, die derzeit einem ständigen Preisverfall am Markt unterliegen.

Kapitel 5

Bewertung der verschiedenen Strukturen

Dieses Kapitel beschreibt die Möglichkeiten des Energiemonitoring, die speziell durch die drei realisierten Ansätze geboten werden. Grenzen der jeweiligen Realisierung, wie beispielsweise in der grafischen Darstellung oder bei der Konfiguration der Betriebsparameter, werden hier ebenso aufgezeigt wie mögliche Wege zur Überwindung derselben.

5.1 Grafische Benutzeroberfläche, GUI

Die drei realisierten Visualisierungen stehen für verschiedene Abstufungen in der Qualität und der Möglichkeiten der Anzeige. Allein von den gegebenen technischen Voraussetzungen der Darstellungstechnik ist das grafische LC-Display der rein textuellen Anzeige überlegen. Genauso verhält es sich auch mit der hochauflösenden, mehrfarbigen Darstellung auf einem PC im Gegensatz zum monochromen, grafischen LC-Display, das zudem eine feste Darstellungsgröße aufweist. Zusätzlich zur Beurteilung der grafischen Benutzeroberfläche an Hand der technischen Möglichkeiten, muss auch der Inhalt der Darstellung untersucht werden. Die bislang implementierten Darstellungsmöglichkeiten beschränken sich dabei auf die Anzeige der aktuellen Zählerstände der im System integrierten Sensoren und der verbrauchten Energie innerhalb eines bestimmten Zeitraumes. Die dabei zum Einsatz kommenden Balkendiagramme sind für die Mehrzahl der Nutzer leicht verständlich, doch wurde zusätzlich im grafischen Visualisierungsgerät eine binärwertige Anzeige in das Diagramm integriert. Anhand dieser „Verbrauchsampel“ soll dem Nutzer sein überdurchschnittlicher Energieverbrauch vor Augen geführt werden. Die zweiwertige Anzeige hat den Vorteil, dass selbst der technisch voll-

kommen unbedarfte Benutzer die Aussage der Darstellung sofort und ohne Zusatzinformation versteht und als Folge entsprechend handeln kann. Weitere Auswertungen sind in der grafischen Visualisierungseinheit zwar implementierbar, doch auf Grund der Einschränkungen der Darstellung auf dem LC-Display sowie der begrenzten Prozessor- und Speicherkapazität des verwendeten 8bit Mikrocontrollersystems nicht sinnvoll. Zudem sind bei der Erwägung eines produktiven Einsatzes die anfallenden Wartungs- und zusätzliche Updatedienstleistungen zu berücksichtigen, die dann bei jedem installiertem Gerät einzeln durchgeführt werden müssen.

Die bei der Realisierung als Gerät auftretenden Probleme, die besonders die Einschränkungen durch die Displayhardware betreffen, treten bei der rein softwarebasierten Lösung nicht auf. Durch die Verwendung der ressourcenreichen PC-Plattform können selbst in einem Java-Applet umfang- und detailreiche Grafiken erstellt werden. Ein weiterer Vorteil des Energiemonitorings über das Internet ist die Beschränkung von Service- und Wartungsleistungen an der grafischen Benutzeroberfläche auf die Serversoftware. Bei Änderungen an der Visualisierung, wie Hinzufügen einer neuen grafischen Auswertung oder Modifikation der Bedienerführung, muss lediglich das auf dem Webserver des Providers befindliche Nutzerapplet modifiziert bzw. ausgetauscht werden. Es entstehen folglich keine Ausfallzeiten des Visualisierungssystems.

5.2 Aspekte der Bedienbarkeit

Eine sehr wichtige Eigenschaft, die das Energiemonitoringsystem aufweisen muss, ist die intuitive Bedienbarkeit. Auch Aspekte der Ergonomie spielen speziell bei der Gestaltung eines elektronischen Gerätes für den Endanwender eine große Rolle.

Die intuitive Bedienbarkeit eines Systems bedeutet die Möglichkeit des Benutzers, dieses System ohne weitere Informationen über dessen Aufbau und Wirkungsweise nutzen zu können. Dabei ist bei einer Energieverbrauchsvisualisierung eine selbsterklärende Benutzeroberfläche ebenso notwendig wie eine übersichtliche und einfach zu erfassende grafische Darstellung des Datenmaterials. Die intuitive Benutzerführung der untersuchten grafischen Visualisierungseinheit gliedert sich hierarchisch in mehrere Menüebenen und wurde in Kapitel 4.3.1 ausführlich behandelt. Im Gegensatz zur klaren Bedienphilosophie des Gerätes konnten die haptischen Eigenschaften auf Grund des eingesetzten Touchscreens nicht sehr nutzerfreundlich realisiert werden. Der Nutzer bekommt eine optische und akustische Rückkopplung über einen erfolgten Tastendruck, jedoch unterbleibt eine Wahrnehmung über den Tastsinn, wie es bei der Betätigung einer Taste durch das Fühlen des sogenannten

„Druckpunkts“ der Fall wäre. Dieser Nachteil betrifft jedoch nicht nur diese spezielle Visualisierungseinheit, sondern auch alle modernen, mit berührungsempfindlichen Bildschirmen ausgestatteten Informationssysteme.

Bei Realisierung des zentralen Konzepts mit einer rein auf Software basierenden Visualisierungsoberfläche, die auf dem hard- und softwareseitig jeweils unterschiedlich ausgestatteten, nutzereigenen PC dargestellt wird, können lediglich Aussagen über die intuitive Bedienbarkeit des Systems gemacht werden. Die Visualisierungssoftware führt den Benutzer durch das Programm, indem Verfahrensanweisungen in die jeweiligen Dialoge eingeblendet werden. Nach der Anmeldung des Benutzers mit Benutzername und Passwort stehen dem Benutzer zweierlei Visualisierungsmöglichkeiten oder das Beenden des Programms durch Anwahl des jeweiligen Knopfes zur Verfügung. Die Darstellung der Balken in den jeweiligen Diagrammen erfolgt in verschiedenen Farben, die auch in der zugehörigen Legende Verwendung finden, um die Zugehörigkeit eines angezeigten Wertes zum Sensor für den Nutzer klar zu markieren.

5.3 Konfiguration der Einzelkomponenten

Die Konfiguration der Einzelkomponenten stellt hohe Anforderungen an die Software. Die Arten der Konfiguration differieren dabei zwischen einer Grundkonfiguration und der Konfiguration bei der Einbringung der Komponente z.B. in ein vorhandenes System. Die verschiedenen, bei der grafischen Visualisierungseinheit zu konfigurierenden Parameter sind im einzelnen:

- Seriennummern der einzelnen Sensoren
- EIB-Gruppenadressen
- Raumzuordnung der Sensoren

Die aufgeführten Parameter sind dabei allesamt Konfigurationseinstellungen, die nicht a priori im Gerät festgelegt werden können, sondern bei der Inbetriebnahme des Gerätes angegeben werden müssen. Die Einstellung der Sensorseriennummern, deren Werte durch die grafische Visualisierungseinheit verarbeitet und angezeigt werden sollen, erfolgt dabei durch das implementierte Konfigurationsmenü, in dem auch die Raumzuordnung erfolgt. Die Konfiguration muss manuell durchgeführt werden. Das Zuweisen der EIB-Gruppenadressen, auf denen Sensorwerte über das Gebäudebussystem übertragen werden, geschieht auf die gleiche Weise. Ein Fernladen der Konfigurationsdaten von einer Hauszentrale oder einem zentralen Datenserver wurde in

der Betriebssoftware bereits vorgesehen, bereitet jedoch Schwierigkeiten, da in Ermangelung eines automatischen Konfigurationsmodus des EIB, mindestens die EIB-Adressvergabe manuell bei der Inbetriebnahme erledigt werden muss.

Durch die unterschiedliche Architektur und auch die Verwendung anderer Netztopologien als bei der grafischen Visualisierung erfordert der dezentrale Datenkonzentrator folgende Konfigurationsdaten:

- Netzwerkparameter des Gerätes (IP-Adresse, Subnetzmaske, Gateway, etc.)
- EIB-Gruppenadressen (optional)
- Nächster Übertragungstermin
- Seriennummern der einzelnen Sensoren

Die genannten Einstellungen können, mit Ausnahme der Netzwerkkonfiguration, über eine Verbindung via FTP auf das Gerät aufgespielt werden.

Die Netzwerkparameter bezieht der dezentrale Datenkonzentrator entweder über das Protokoll DHCP („Dynamic Host Configuration Protocol“, [Dro97]) dynamisch von einem im Netzwerk vorhandenen DHCP-Server oder sie werden vorab fest über Kommandozeilenbefehle im Datenkonzentrator eingetragen und in seinem Flashspeicher gehalten. Die Methode der Konfiguration mittels DHCP bietet den Vorteil des „ad hoc networking“, der sofortigen Bereitschaft des Netzwerkgerätes nach dem physikalischen Einbringen in das Netz, bringt jedoch den Nachteil des erforderlichen DHCP-Servers mit sich, der die Vergabelisten und Konfigurationsinformationen verwaltet und von dem alle anderen Netzteilnehmer abhängig sind.

Der Parameter „Nächster Übertragungstermin“ kann von der Software des zentralen Datenservers durch Übermittlung eines Konfigurationspakets beeinflusst bzw. neu gesetzt werden, wodurch beispielsweise eine Serverüberlastung durch zu viele Zugriffe zur gleichen Zeit verhindert bzw. die Datenübertragung in einen für die Serverauslastung günstigen Zeitraum verlegt wird. Mit Hilfe dieser implementierten Fernkonfigurationsmöglichkeit können zudem Änderungen an den im Datenkonzentrator gespeicherten Sensorseriennummern bis hin zu kompletten Softwareupdates der Betriebssoftware der Geräte vollzogen werden.

Auf Grund der Komplexität der gesamten Serversoftware, bestehend aus den in Kapitel 4.3.6 beschriebenen Funktionsmodulen, sind viele Konfigurationsparameter sowohl bei der Einrichtung, als auch im laufenden Betrieb zu Administrationszwecken notwendig. In der nachfolgenden Auflistung sind die

wichtigsten Parameter der Software dargestellt, nicht jedoch die für die externen Module wie SQL-Datenbank oder Web- bzw. FTP-Server erforderlichen Konfigurationseinstellungen.

- Netzwerkparameter des Gerätes (IP-Adresse, Subnetzmaske, etc.)
- Datenbankparameter (Datenbankrechner, Name, Port, Zugangsdaten, etc.)
- Nutzerdaten (Name, Anschrift, etc. und Zugangsdaten)
- Sensordaten (Seriennummer, Betriebsort, aktueller Zählerstand, Gerätetyp)
- Daten der dezentralen Datenkonzentratoren (Seriennummer, Montageort, etc.)
- Zuordnung zwischen Nutzern, Datenkonzentratoren und Sensoren
- Sonderfunktionsdaten (Ablauf der Sessiontimer, der Datenkonzentratortimer und der Sensorentimer)

Die Netzwerkparameter werden im unter der Anwendung laufenden Betriebssystem bestimmt, sind jedoch für die Kommunikation der einzelnen Softwarekomponenten untereinander notwendig. Die Datenbankparameter werden in einer textbasierten Konfigurationsdatei der Serverapplikation und des Servlets, die auf dem Filesystem des jeweiligen Hostrechners liegt, eingetragen. Dabei kann für Serverapplikation und Servlet auf Grund des identischen Formats und Inhalts idealerweise dieselbe Konfigurationsdatei verwendet werden. Die Nutzer-, Sensor- und Datenkonzentratorenparameter sowie deren Verknüpfungen werden in der SQL-Datenbank angelegt, deren Tabellen beim ersten Aufruf eines der Serverprogramme automatisch geprüft und gegebenenfalls neu eingerichtet und initialisiert werden. Um die Tabellen für die eben genannten Daten füllen zu können, wurde ein marktgängiges SQL-Frontend für MySQL verwendet und die Daten direkt in die Datenbank eingebracht. Die Konzeption einer providerseitigen, benutzerfreundlichen Administrations-Schnittstelle ist jedoch bei einem zukünftigen, produktiven Einsatz des Systems notwendig. Hier wurde eine HTTP-basierte, mit dynamischen Webinhalten arbeitende Lösung untersucht.

5.4 Möglichkeiten des Gesamtsystems

Das Energiemonitoringsystem bietet primär eine zeitnahe Darstellung des individuellen Energieverbrauchs. Die zusätzlichen Möglichkeiten gehen jedoch weit über diesen Nutzen hinaus. So ist es beispielsweise durch einen Vergleich der mit raumspezifischen Parametern gewichteten Heizenergieverbräuche verschiedener Räume eines Hauses möglich, Schäden in der Gebäudeisolation (sogenannte „Kältebrücken“) oder auch andere Bauschäden wie Wassereintritte bereits frühzeitig erkennen zu können. Ein Beispiel für raumspezifische Parameter wäre, unter Vernachlässigung der Lage des Raumes innerhalb des Gebäudes sowie der installierten Fensterfläche, die Grundfläche. Ein Bezug der verbrauchten Energie auf die Raumfläche ist ein grober, jedoch meist ausreichender Indikator für beispielsweise Schwächen in der Gebäudedämmung. Wie das Beispiel in Tabelle 5.1 zeigt, ist der flächenbezogene Energieverbrauch von Nutzer A höher als der von Nutzer B, wobei die jeweilige Nutzung des Raumes (Wohnzimmer, Schlafzimmer, etc.) beachtet werden muss und die Annahme vorausgeht, dass beide ein ähnliches Nutzerverhalten aufweisen (z.B. ähnliche Raumtemperierung, Lüftungsverhalten). Räume mit stark differierendem Nutzerverhalten sowie unterschiedlicher Nutzung sind durch reinen Flächenbezug nicht zu vergleichen.

	Wohnzimmer Nutzer A	Wohnzimmer Nutzer B
Fläche	$25m^2$	$37m^2$
Verbrauch	$800kWh$	$1036kWh$
Gewichteter Verbrauch	$32\frac{kWh}{m^2}$	$28\frac{kWh}{m^2}$

Tabelle 5.1: Energieverbrauchsbewertung bezogen auf die Raumfläche

Durch die zeitnahe Visualisierung des Energieverbrauchs und die vergleichende Auswertung unter Berücksichtigung der räumlichen Gegebenheiten wird eine energetisch optimierte, proaktive Gebäudesanierung möglich. Der Vergleich des Energieverbrauchs vor und nach der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen bietet zudem eine gute Grundlage für die Kontrolle der Wirksamkeit der durchgeführten Optimierungen. Dabei muss der Nutzer selbst nicht einmal aktiv werden, sein Serviceprovider könnte eine „Energiekontrolldienstleistung“ anbieten und bei dauerhaft erhöhtem Verbrauch beispielsweise einer Nutzereinheit oder einer Liegenschaft dem Eigentümer entsprechende Sanierungskonzepte vorschlagen.

5.5 Einsatzbereich der Strukturen

Die drei untersuchten Systemstrukturen sind auf Grund ihrer unterschiedlichen Beschaffenheit und Komplexität auch in unterschiedlichen Anwendungsgebieten einsetzbar.

Die einzelnen Visualisierungseinheiten mit grafischer Anzeige sind wegen ihrer Einfachheit und dem Fehlen von aufwändiger Vernetzung besonders für das Ein- bzw. Mehrfamilienhaus geeignet.

Für kleinere Liegenschaften ist das Konzept unter Verwendung einer Liegenschaftszentrale und in jeder Wohneinheit installierter Visualisierungseinheiten einsetzbar, da der Mehraufwand der Vernetzung durch zentrale Datenauslesung zur Abrechnung und vergleichende Auswertungen kompensiert wird.

Das Energiemonitoring über das Internet unter Nutzung eines zentralen Servers und eines WWW-Portals zur Visualisierung bietet sich für alle Liegenschaften mit einer mittleren bis größeren Anzahl an Wohneinheiten an. Die Vorteile dieses Systems liegen besonders in der Wartungsfreundlichkeit und dem niedrigen Aufwand an speziellen Geräten (Datenkonzentrator). Gleichzeitig können dem Nutzer aufwändige Verbrauchsauswertungen und Vergleichsrechnungen zur Verfügung gestellt werden.

Kapitel 6

Feldstudien und Labormodell

In diesem Kapitel werden die in Versuchen gemachten Erfahrungen mit den einzelnen Systemen dargestellt. Ebenso wird der realisierte Labor- und Demonstrationsaufbau und zugehörige Messergebnisse vorgestellt.

6.1 Feldstudien

Innerhalb des Projektes ISOTEG (siehe [BDF01]) wurde in einem Teilprojekt die „Einzelraumregelung von Schulgebäuden“ untersucht. Dabei wurden durch die Kooperation des Lehrstuhls für Messsystem- und Sensortechnik mit dem ZAE Bayern zwei frühe Versionen eines Datenkonzentrators zur Messwerterfassung in eben diesem Schulgebäude platziert. In der Grundschule Randersacker, die die entsprechende Versuchsplattform darstellte, wurden vier Klassenräume mit elektronischen, funkauslesbaren Heizkostenverteiltern ausgerüstet und zwei mikrocontrollerbasierte Datenkonzentratoren zum Datenempfang installiert (siehe Pfeil in Abbildung 6.2). Die Struktur der gesamten Installation ist in Abbildung 6.1 dargestellt. Dabei wurden zwei Datenkonzentratoren zum Datenempfang verwendet, um Reichweitenproblemen bei der Funkübertragung der Sensorwerte vorzubeugen.

Diese Einheiten überprüfen die empfangenen Verbrauchsdaten auf Plausibilität. Sie wurden anschließend mittels einer softwarebasierten Treiberarchitektur über eine EIB-Installation an einen Datenlogger der Projektpartner übertragen und dort aufgezeichnet. Erst durch die Versuche in dieser realen Testumgebung konnten grundlegende Kenntnisse über die Betriebsbedingungen einer solchen Einheit und die Programmierung der Sensoren sowie deren Verhalten bezüglich Messdatenerfassung und -übertragung erworben werden. Diese Ergebnisse flossen schließlich in die Konzeption und den Aufbau des Labormodells ein. Zusätzlich konnten durch die Langzeittests versteckte Feh-

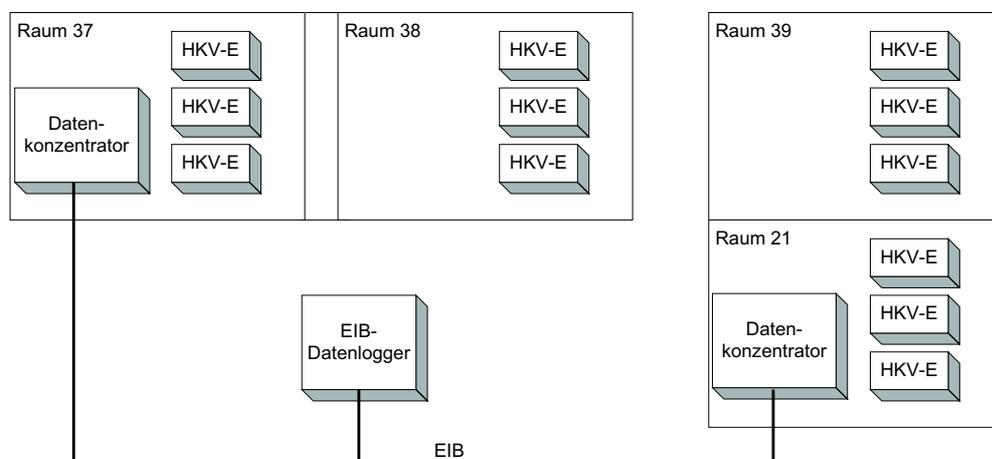


Abbildung 6.1: Struktur der Installation

ler innerhalb der Mikrocontrollersoftware erkannt und behoben werden. Der Feldversuch wurde durch das ZAE Bayern betreut und mit dem Ende des ISOTEG-Projekts abgeschlossen. Weitere Versuche wurden mit Hilfe des im folgenden Kapitel beschriebenen Labormodells am Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik der Technischen Universität München durchgeführt.

6.2 Labormodell

Der Aufbau eines Demonstrationsobjektes zur Veranschaulichung des Themas „Energiemonitoring“ war eine der Aufgaben am Ende der konzeptionellen Phase der Systementwicklung. Ein solches Gerät (siehe Abbildung 6.3) dient vornehmlich zur Verifizierung und Demonstration der Möglichkeiten eines Energiemonitoringsystems sowie zur Messwertgenerierung und -erfassung im Labor. Dabei ist es möglich, durch konfigurierbare Temperaturkurven verschiedene Heizszenarien zu simulieren sowie den zeitlichen Maßstab realer Verbrauchsmessungen künstlich zu verkürzen.

Das Labormodell besteht aus einem koffertartigen Aufbau, in den ein Heizsimulator, ein Datenkonzentrator mit textueller Anzeige und eine grafische Visualisierungseinheit integriert wurden. Eine externe Verbindung zu einem zentralen Datenserver wird dabei durch eine Ethernetverbindung, die durch den Datenkonzentrator bereitgestellt wird, ermöglicht. Der Heizsimulator besteht aus vier unabhängig voneinander beheizbaren Aluminiumplatten, auf die elektronische Heizkostenverteiler des Typs „Doprino“ montiert wurden. Die Temperatur der Platten wird elektronisch geregelt über ein System von

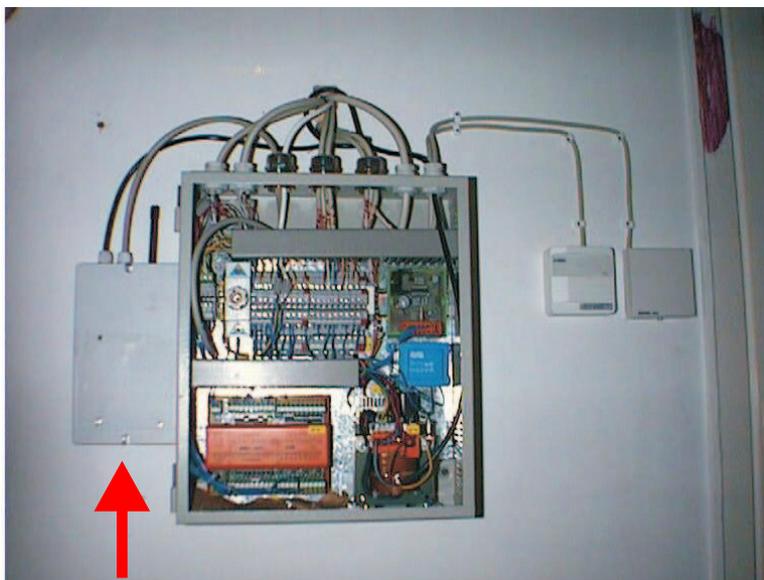


Abbildung 6.2: Installierter Prototyp eines EIB-Datenkonzentrators (Pfeil)

Temperatursensoren und Relaisaktoren, wobei sowohl Sensorik als auch Aktorik über den 1-Wire Bus vernetzt wurden. Als Busmaster dient dabei das multiprozessfähige TINI-board des Datenkonzentrators, auf dem neben der Datenkonzentratorsoftware ein zusätzliches Programm läuft, das die notwendigen Regelalgorithmen für den Betrieb des Heizsimulators realisiert. Die simulierten Verbräuche werden von beiden installierten ATEM-Funkempfängern empfangen und an die jeweils angeschlossene Hardwareeinheit weitergeleitet. Die grafische Visualisierungseinheit arbeitet dabei als Einzelgerät ohne Vernetzung. Die beim dezentralen Datenkonzentrator installierte vierzeilige LC-Anzeige ist optional, da dieses Gerät lediglich zur Erfassung der Sensordaten konzipiert wurde.

Über den bereits erwähnten Ethernetanschluss kann der Demonstrator mit einem Netzwerk oder einem einzelnen Rechner verbunden werden. Zu Demonstrationszwecken wurde die Serversoftware auf einem separaten Notebook installiert und dort auch die zugehörige Visualisierung per „Internet“ gezeigt. Der im Labor aufgebaute Demonstrator speichert auf den in Abbildung 4.26 dargestellten Datenbankserver periodisch die vom Heizsimulator erzeugten Verbrauchswerte. Eine grafische Auswertung von erzeugten Messwerten ist in Abbildung 6.4 dargestellt. Die Skalierung der Zeitachse wurde in Stunden vorgenommen.

Wie den Kurven deutlich zu entnehmen ist, wurde der Heizsimulator in der



Abbildung 6.3: Modellaufbau für ein Energiemonitoringsystem

betrachteten Messperiode mehrfach deaktiviert (Horizontaler Kurvenverlauf) und wieder aktiviert (Steigung im Kurvenverlauf). Bei Aktivierung wurde jeweils eine konstante Temperatur der Heizflächen von 48°C im „Badezimmer“, 45°C im „Wohnzimmer“, 40°C in der „Küche“ und 35°C im „Schlafzimmer“ eingestellt. Über 450h , im Zeitraum von 526h bis 976h , wurde die Heizplatte des Badezimmers auf lediglich 22°C geheizt, was die Überschneidung der Kurven von Bade- und Wohnzimmer erzeugt. So wurde während dieser Zeit eine niedrigere Nutzung der Heizung in einem Raum simuliert.

Ein Ausschnitt von Abbildung 6.4 ist in Abbildung 6.5 dargestellt, wobei hier ein zeitlicher Ausschnitt von 50 Stunden gewählt wurde. Dabei wurden nur die Messdaten eines Heizkostenverteilers aufgezeichnet und während dieser Zeitspanne die Messeinrichtung auf konstanter Temperatur gehalten. Deutlich ist dem Diagramm der lineare Anstieg der Messwerte und der Senderhythmus des Heizkostenverteilers zu entnehmen, der stündlich mit differierenden Sendezeitpunkten sein Telegramm übermittelt.

In Abbildung 6.6 zeigt die Zählerstandskurven von vier Heizkostenverteilern über einen Zeitraum von 50h . Neben den verschiedenen hohen Zählerständen werden dabei auch die unterschiedlichen Steigungen der Kurven deutlich, die aus den unterschiedlichen Temperaturen der Heizsimulatorplatten resultie-

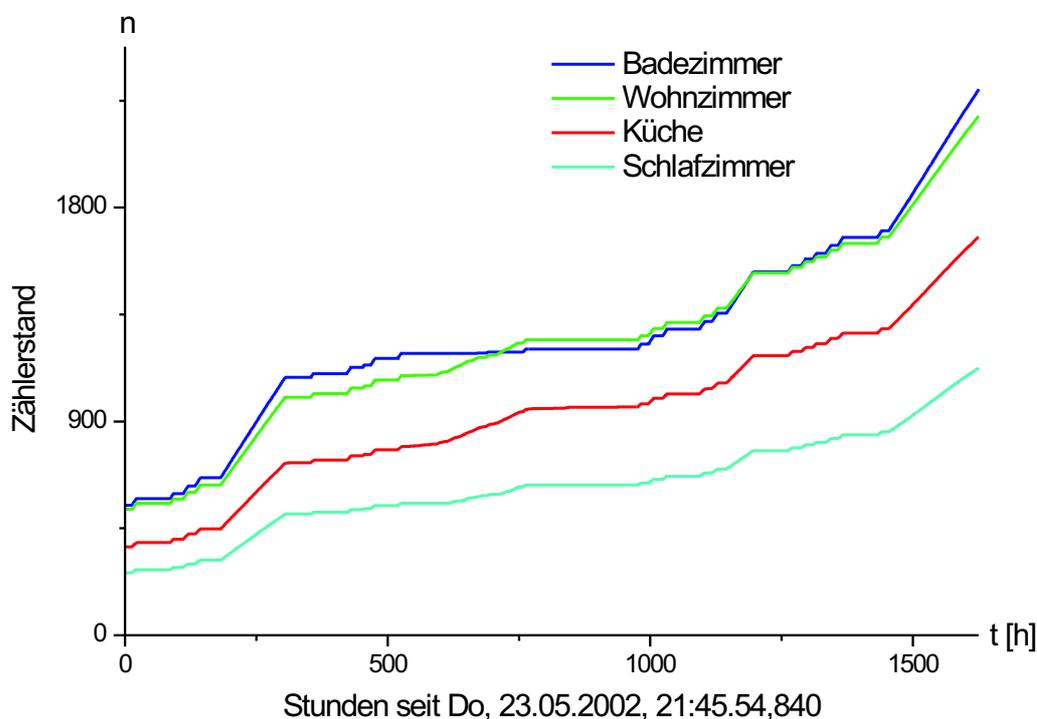


Abbildung 6.4: Messwerte des Demonstrators

ren. Der elektronische Heizkostenverteiler der Küche zeigt zudem Lücken bei der Übertragung der Telegramme, die durch Störungen der Funkübertragung zustande gekommen sind. Das Fehlen von Messwerten ist in realen Installationen (siehe auch Kapitel 6.1) in noch höherem Maße vorhanden, da hier größere Distanzen durch die Funkmodule der Messeinrichtungen überbrückt werden müssen und damit die Unsicherheit der Verbindung auf Grund von Störungen steigt.

Die Empfindlichkeit E_T der im Labormodell integrierten Heizkostenverteiler bezüglich der Heizkörpertemperatur kann unter Verwendung von Gleichung 6.1 errechnet werden. Dabei steht $\Delta\vartheta$ für die Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und Raumluft und $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ für die Zählerstandszunahme in einer bestimmten Zeitspanne. Da die Heizkostenverteiler lediglich einen der verbrauchten Energie proportionalen Zählwert liefern, erscheint der Zähl- bzw. Energiewert hier dimensionslos. Beispielhaft wurde die Empfindlichkeit des Heizkostenverteilers „Wohnzimmer“ in Gleichung 6.2 errechnet (Raumtemperatur 22°C).

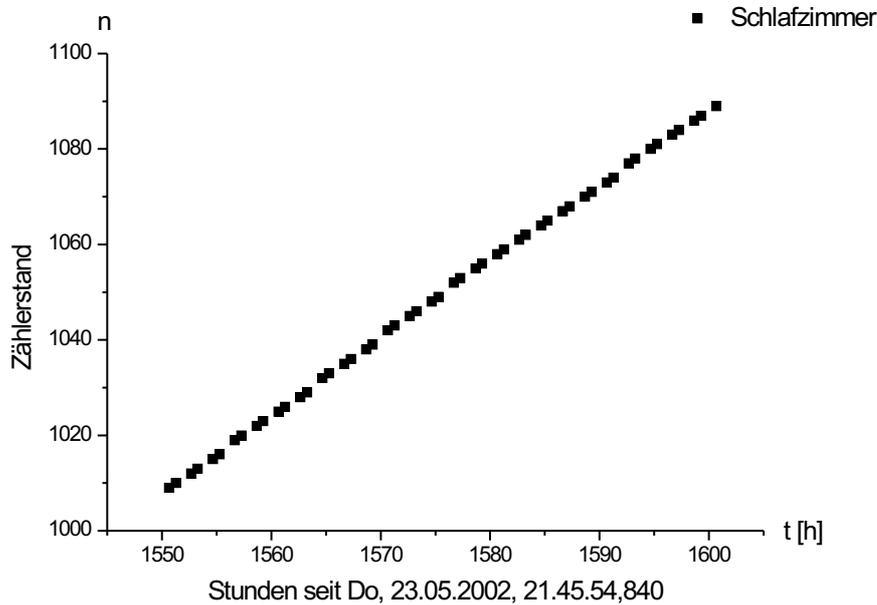


Abbildung 6.5: Detaillierter Messwertverlauf eines Heizkostenverteilers

$$E_T = \frac{\frac{\Delta n}{\Delta t}}{\Delta \vartheta} \quad (6.1)$$

$$E_T = \frac{\frac{150}{50h}}{45^\circ C - 22^\circ C} = 0,130 \frac{1}{h \cdot ^\circ C} \quad (6.2)$$

Abgesehen von der festgelegten, stündlichen Funkübertragung der Messeinrichtungen, kann die maximale zeitliche Auflösung bei Vernachlässigung von intern mitgeführten Nachkommastellen der Zählwerte durch Einsetzen der oberen Grenztemperatur der Geräte von $90^\circ C$ sowie der Empfindlichkeit und der Raumtemperatur aus Gleichung 6.2 in Gleichung 6.1 ermittelt werden. Dabei wird die Zeit Δt_{min} berechnet, in der ein Zählfortschritt um eins erfolgt (Gleichung 6.3). Da die zeitliche Auflösung von der Heizkörpertemperatur abhängt und eine maximale Temperatur von $90^\circ C$ praktisch nicht erreicht wird, wurde in Gleichung 6.4 beispielhaft die zeitliche Auflösung des Heizkostenverteilers im Raum „Wohnzimmer“ errechnet. Das Ergebnis zeigt, dass die Sensorik durchaus eine höhere Auflösung als eine Stunde (hier: 20 Minuten) bietet. Dieser Vorteil kann jedoch auf Grund der maximal stündlichen Funkübertragung nicht genutzt werden.

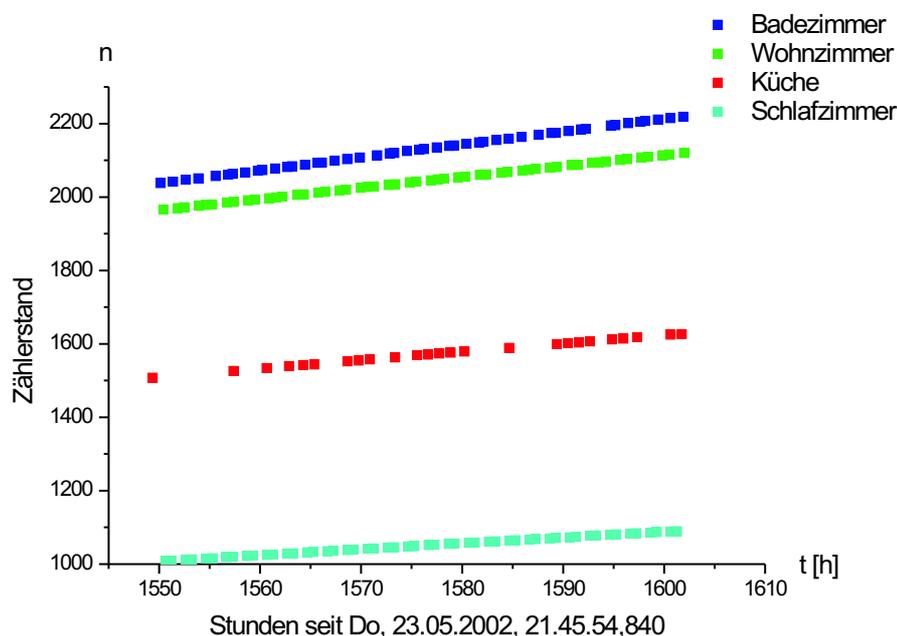


Abbildung 6.6: Detaillierter Vergleich von vier HKV-E

$$\Delta t_{min} = \frac{1}{E_T \cdot \Delta \vartheta} = \frac{1}{0,130 \frac{1}{h \cdot ^\circ C} \cdot (90^\circ C - 22^\circ C)} = 0,113h \quad (6.3)$$

$$\Delta t_{Wohnzimmer} = \frac{1}{E_T \cdot \Delta \vartheta} = \frac{1}{0,130 \frac{1}{h \cdot ^\circ C} \cdot (45^\circ C - 22^\circ C)} = 0,334h \quad (6.4)$$

Das Labormodell wie auch der reale Feldversuch haben gezeigt, dass oftmals auftretende Funkstörungen auf die Verwendung der Heizkostenverteiler zur Abrechnung über einen Jahreswert keinen Einfluss haben. Dieser ist jedoch stark bei dem Einsatz in einem Energiemonitoringsystem gegeben, wodurch sich die Umprogrammierung des Senderhythmus der Messeinrichtungen auf 1h als richtige Maßnahme erwiesen hat, um zuverlässige Tageswerte aller Sensoren gewinnen zu können.

Falls ein Energiemonitoringsystem auch kurzfristige Störungen wie beispielsweise das Lüften durch Öffnen eines Fensters detektieren soll, ist eine höhere Auflösung der Sensoren erforderlich. Dabei muss auch die Häufigkeit der Datenübertragungen zu externen Auswertungssystemen erhöht werden, was jedoch eine geringere Batterielebensdauer der Geräte bedingt. Dies kann nur mit neuartigen Messeinrichtungen, wie den in Kapitel 7.2 erwähnten Oberflächenwellensensoren, in Zukunft vielleicht erreicht werden.

Kapitel 7

Systemerweiterungen

Wenn auch in dieser Arbeit vornehmlich das Energiemonitoring untersucht wurde, muss am Ende die Frage gestellt werden, ob durch entsprechende Systemerweiterungen der Anwendungsnutzen weiter erhöht werden kann. Möglichkeiten dazu werden in den folgenden Unterpunkten kurz angerissen.

7.1 Heimautomatisierungssysteme

Die Möglichkeiten einer Integration in ein bestehendes Heimautomatisierungssystem reichen von der Darstellung der aktuellen Zählerstände zu Kontrollzwecken auf einer standardisierten EIB-Visualisierung, wie sie in Abbildung 7.1 gezeigt wird, bis hin zur Verknüpfung der erfassten Energieverbräuche mit Featurecontrollern, die weitere logische Verbindungen innerhalb des Gebäudeautomatisierungssystems ermöglichen. Dabei kann ein mögliches Szenario sein, dass der Featurecontroller durch die Auswertung der auf dem Bus versandten Verbrauchstelegramme selbstständig den Defekt eines automatischen Heizkörperventils erkennt, wenn Energie verbraucht wird trotz geschlossenem Ventil. Das Heimautomatisierungssystem kann so den Nutzer sehr frühzeitig vor einem Ausfall von Komponenten, hier einem Heizkörperventil, warnen.

Die Anbindung an das Bussystem EIB wurde bereits im Energiemonitoringsystem realisiert. Da die verwendeten Telegramme und darin enthaltenen Formate durch die Benutzung von EIS-Type 10 (vergleiche Kapitel 4.2.3) für die Datenübertragung auf dem Bus standardisiert sind, kann das oben angeführte Szenario bereits mit den Komponenten realisiert werden, die eine EIB-Anbindung bieten. Durch die Festlegung auf einen standardisierten Telegrammtyp (EIS-Type 10) ist es möglich, mit Visualisierungsapplikationen, die für die Anzeige und Steuerung von EIB-Netzen dienen, die übertragenen



Abbildung 7.1: Standard EIB Visualisierung

Zählerstände direkt als Balkendiagramme anzuzeigen. Weitere Auswertungen sind jedoch auf Grund der notwendigen Datenverarbeitung und der Speicherung der Datenhistorie bzw. des Verlaufs mit derartigen Geräten nicht möglich, da in diesen Applikationen meist nur Steuerungs- und einfache Anzeigefunktionen implementiert sind.

7.2 Einzelraumregelung

Die Erweiterung des Systems für die Realisierung einer Einzelraumregelung ist mit den bisher verwendeten elektronischen Heizkostenverteilern und Wärmezählern kaum möglich. Der Grund dafür liegt einerseits in der für eine Regelung zu geringen Sendehäufigkeit der Geräte und der damit zeitlich unzureichend aufgelösten Messwerterfassung und andererseits in der fehlenden, aber für die Regelfunktion notwendigen Temperaturinformation. Folglich ist eine modifizierte Sensorik für einen derartigen Einsatzzweck unumgänglich. Neuartige Temperatursensorik, die sich zur Zeit in Entwicklung befindet, basiert auf aktiver OFW-Technik (Oberflächenwellensensorik). Im Gegensatz zu herkömmlicher, passiver OFW-Sensorik, bei der die notwendige Sensorenergie über Hochfrequenz zugeführt wird und sich somit sehr begrenzte Reichweiten der Geräte ergeben, enthält die aktive OFW-Technik Komponenten zur Energieerzeugung, die beispielsweise Temperaturgradienten der Umgebung nutzen ([EnO02]). In einem Projekt zwischen Siemens und Viterra Energy Services wurde ein prototypischer, elektronischer Temperatursensor entwickelt, der keinerlei zusätzliche Energiequelle benötigt und seine Sensordaten drahtlos

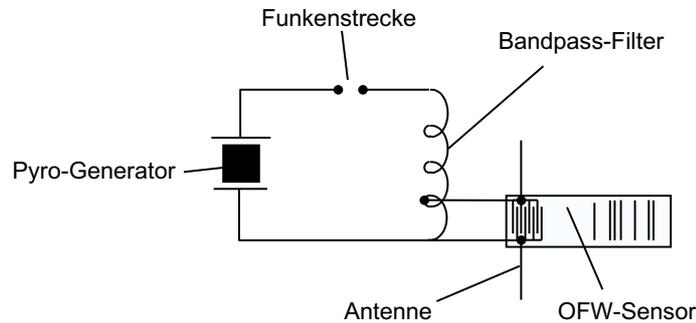


Abbildung 7.2: Aktive OFW Sensorik zur Temperaturmessung

überträgt. Der Sensor bezieht die Energie, um seine Funktelegramme generieren zu können, aus den Temperaturänderungen seiner Umgebung unter Ausnutzung des pyroelektrischen Effekts. Das Prinzipschaltbild eines solchen Sensors ist in Bild 7.2 dargestellt. Im Pyrogenerator baut sich durch Temperaturveränderungen eine Ladung auf, die eine an der Funkenstrecke anliegende Spannung zur Folge hat. Bei Erreichen der Durchbruchsspannung der Funkenstrecke fließt ein Strom durch die Interdigitalwandler des OFW-Sensors und erzeugt dabei eine Oberflächenwelle, die durch mehrere Reflektoren wieder zurückgeworfen wird. Diese Reflexionen laufen wiederum über die Interdigitalwandler und strahlen dabei einen spezifischen, breitbandigen HF-Impuls auf der angeschlossenen Antenne ab. Die Information über Seriennummer des Sensors wird dabei durch entsprechende Platzierung von „Strichcodes“ (Reflektoren) auf dem OFW-Substrat erreicht. Die Signallaufzeiten auf dem Quartz sind je nach eingesetztem Schnitt durch die Längenausdehnung stark temperaturabhängig. Der Sensor erzeugt somit ein HF-Signal, dessen enthaltene Peaks eine zeitliche Verschiebung in Abhängigkeit von der OFW-Filtertemperatur aufweisen. Der Empfänger des Funktelegramms muss aus den geringen Laufzeitunterschieden innerhalb der Signalpeaks sowohl die gemessene Temperatur decodieren, als auch die Seriennummer des Senders erfassen. Diese hohen Anforderungen sind deshalb nur mit einer aufwändigen Signalverarbeitung mit digitalen Signalprozessoren oder einer festverdrahteten Logik (FPGA, ASIC) zu erfüllen. Auf Grund der größeren Sendehäufigkeit sowie der Übermittlung reiner Temperaturwerte wäre diese Sensorik dazu geeignet, zusätzlich zu einer Verbrauchsdatenerfassung auch eine Einzelraumregelung beispielsweise unter Verwendung eines modernen Steuerbusystems zu realisieren. Dabei kann eine der beiden vernetzten Strukturen des Energiemonitoringsystems zum Einsatz kommen. Die Nachteile des OFW-

Konzeptes sind die bislang fehlende Serienreife der Sensoren sowie die im Vergleich zu herkömmlichen funkbasierten Sensorschnittstellen äußerst aufwändige und kostenintensive Empfangselektronik. Die zusätzlich schwierige Zertifizierung bzw. Zulassung eines solchen „unintelligenten“ Sensors ohne eigenes Zählwerk zu Abrechnungszwecken verhindert bislang den Markterfolg dieser Technologie.

7.3 Klimakorrektur

Die reine Anzeige von Verbrauchsdaten ist in der Weise erweiterbar, dass Energieverbräuche nach den in der Nähe des Verbrauchsortes zur Verbrauchszeit vorherrschenden Wetterbedingungen interpretiert werden. Diese Witterungs- bzw. Klimakorrektur macht weitere Auswertungen in Form von für den Nutzer gut interpretierbaren Verbrauchsanzeigen (binäre Anzeige, „Verbrauchsampel“) möglich.

Die Realisierbarkeit einer solchen Erweiterung ist lediglich in den beiden Systemansätzen mit zentralen Komponenten gegeben. Die Wetterdaten müssen dabei zentral erfasst und die Verbrauchswerte der Sensoren nach den vorherrschenden Außenbedingungen gewichtet werden. Die zu diesem Zweck geeigneten Wetterdaten sind die Außentemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, die Intensität und der Winkel der Sonnenstrahlung sowie die relative Luftfeuchte. Den größten Einfluss hat dabei die Außentemperatur, die in die sogenannte „Gradtagszahl“ einfließt. Laut [Sch02] geben die Gradtagszahlen „für jeden Tag, dessen Mitteltemperatur unter 15°C liegt (also an dem geheizt werden muss), die Differenz von 20°C zu dieser Mitteltemperatur an. Einheit ist der Gradtag (Kd).“ Beispielsweise beträgt für eine mittlere Tagestemperatur von 13°C der Gradtagswert $Gt = 7\text{Kd}$. Die Gradtagswerte entsprechen der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur und korrelieren deshalb gut mit dem Heizenergiebedarf.

Bei Betrachtung der Systemstruktur unter Verwendung eines liegenschaftszentralen Datenkonzentrators ist es möglich, eine lokale Wetterstation über eine der bereits vorhandenen Standardschnittstellen wie beispielsweise einen seriellen Port anzuschließen. Der Aufwand an zusätzlicher Hardware ist jedoch nicht zu unterschätzen.

Die zentral organisierte Systemstruktur bietet zweierlei Ansatzmöglichkeit zur Erweiterung um eine Klimabereinigung. Einerseits kann ein Anschluss einer lokalen Wetterstation an einen dezentralen Datenkonzentrator der Liegenschaft erfolgen, der die zusätzlich erhaltenen Wetterdaten mit den Verbrauchsdaten zur Auswertung an den zentralen Datenserver übermittelt. Hier bietet sich die Verwendung der 1-wire Schnittstelle des dezentralen Datenkon-

zentrators und einer zusätzlichen Software für das multiprozessfähige TINI-board an. In einem Projekt wurde am Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik bereits eine solche Wetterstation auf Basis von 1-wire Sensoren und einem TINI-board inklusive zugehöriger, webbasierter Software als Auswertungsstation entwickelt (Abbildung A.3). Der Vorteil beim Einsatz dieser Lösung liegt im geringen Hardwareaufwand durch die Verwendung eines reinen Sensornetzes und keiner zusätzlichen „kompletten“ Wetterstation.

Andererseits kann die Funktionalität der Klimabereinigung bei Realisierung des zentralen Systemansatzes auch ohne jegliche Zusatzhardware integriert werden. Dazu müsste eine neuartige Serverkomponente geschaffen werden, die die von einem Wetterdienst oder auch im Internet verfügbaren Wetterinformationen für verschiedene Orte sammelt und diese Informationen parallel zu den Verbrauchsdaten speichert. Die Nutzerinformationen über den Ort der Liegenschaft müssten um den nächsten oder die beiden nächsten Standorte von erfassten Wetterstationen ergänzt werden. Zusätzlich muss eine entsprechende Auswertung in das Servlet integriert werden, beispielsweise eine Visualisierung des Energieverbrauchs mit gleichzeitiger Darstellung des Aussentemperaturverlaufs im selben Diagramm.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Systeme zum Energiemonitoring stellen hard- und softwaretechnisch eine Herausforderung dar. Die Funktionsfähigkeit aller drei untersuchten Systemstrukturen „einzelne Visualisierungseinheiten“, „Visualisierungseinheiten mit Liegenschaftszentrale“ und „zentrales, serverbasiertes System“ wurde in der Arbeit grundlegend nachgewiesen und jeweils zugehörige Visualisierungseinheiten bzw. -oberflächen konzipiert und realisiert. Die bisher am Markt verfügbaren Möglichkeiten zur Energieverbrauchskontrolle von privaten Haushalten behandeln allenfalls Teilaspekte, während diese Arbeit erstmals eine klar gegliedertes, modular aufgebautes Gesamtsystem in verschiedenen Ausbaustufen vorschlägt:

- Systematische Untersuchungen verschiedener Systemstrukturen
- Modularität in Hardware und Software
- Funkbasierte Messeinrichtungen
- Einzelne Visualisierungseinheiten mit grafischer Anzeige
- Vernetzte Anzeigeeinheiten mit Liegenschaftszentrale
- Einbindung von Gebäudesystemtechnik, Feldbussen
- Datenkonzentratoren mit Java-Software zur Messdatenerfassung
- Visualisierung über Java-Applet-Technologie im Webbrowser
- Verschlüsselte Verbindungen zur Datenübertragung
- Zentrale Datenhaltung beim Serviceprovider
- Datenbankunterstützung zur Verwaltung größerer Datenmengen

Ein ständiger Kontakt mit Vertretern von Abrechnungsunternehmen, die letztendlich eine Vermarktung anstoßen und die Dienste der Serviceprovider-Seite anbieten sollen, brachte wertvolle anwendungsorientierte Aspekte in das Energiemonitoringsystem ein. In diesen Gesprächen wurde besonders deutlich, dass die Vermarktbarkeit hauptsächlich bei der serverbasierten Lösung mit einem oder wenigen Datenkonzentratoren pro Liegenschaft gegeben ist, da bei dieser Lösung der technische Aufwand pro Nutzer am geringsten ist. Gerade bei Berücksichtigung einer großen Nutzerzahl sinken die pro Nutzer aufzuwendenden Kosten erheblich, da die notwendigen Serversysteme durch die objektorientierte, modularisierte und weitestgehend plattformunabhängige Serversoftware sehr gut skalierbar sind und Kapazitätserweiterungen auch während des Betriebs erfolgen können.

Das Energiemonitoring ist eine Technologie, die in Zukunft, ähnlich wie beispielsweise der Einzelverbindungs-nachweis bei den Telefonkosten, immer weitere Verbreitung finden wird. Durch den Mehrwert, den der Serviceprovider durch ein solches System erhält, können Zwischenabrechnungen (z.B. bei einem Nutzerwechsel) auf Grund der hohen zeitlichen Auflösung der verfügbaren Verbrauchsdaten mit minimalem Zusatzaufwand erstellt werden. Die Installation eines Energiemonitoringsystems bedeutet vor allem für den Nutzer Vorteile hinsichtlich der Transparenz seines Energieverbrauchs. Die zusätzlich seitens des Providers möglichen Dienste, wie ein „Verbrauchs-Check“ oder eine „Verbrauchsoptimierung“ bedeuten eine Verbreiterung seiner Angebotspalette.

Grundlegend wurde in dieser Arbeit bereits nachgewiesen, dass ein Energiemonitoringsystem wirtschaftlich arbeiten kann und große Einsparungsmöglichkeiten besonders im Bereich Heizenergie durch Änderung des Nutzerverhaltens bietet. Allererste Geräte für Teilaspekte des Energiemonitoring sind in der Entwicklung bzw. schon auf dem Markt, jedoch wurden erst durch eine systematische Untersuchung und Gesamtschau des Gebietes entsprechende Anforderungen an ein solches System erarbeitet. Die durchgeführten Strukturuntersuchungen ermöglichten die Auswahl der drei umgesetzten Konzepte und die Erstellung von Verfügbarkeitsprognosen. Bei der Realisierung schließlich wurde auf Modularität in Hard- und Software geachtet sowie modernste Technologie eingesetzt. Bei der Auswahl der Hardwarekomponenten und der eingesetzten Softwarestrukturen standen schließlich die breitgefächerte Verfügbarkeit der eingesetzten Technologien wie auch die Kosten im Vordergrund.

Eine abschließende, definitive Prognose für den zukünftigen, wirtschaftlichen Erfolg von Energiemonitoringsystemen wäre hier sicherlich fehl am Platz. Jedoch werden die Kosten und damit auch die Verbraucherpreise für Energie zukünftig weiter ansteigen, so dass sich ein System zur Rückkopplung

von Energieverbräuchen zwangsläufig etablieren wird. Sobald sich einer der größeren Serviceprovider für die Einführung eines solchen Energiemonitoringsystems, mit geringen Mehrkosten für den Gebäudeeigentümer bzw. Nutzer, entscheidet, wird durch den marktwirtschaftlichen Wettbewerb die Verbreitung und die Optimierung solcher Systeme angestoßen.

Anhang A

Zusätzliche Abbildungen



Abbildung A.1: Erster Laboraufbau der grafischen Visualisierung

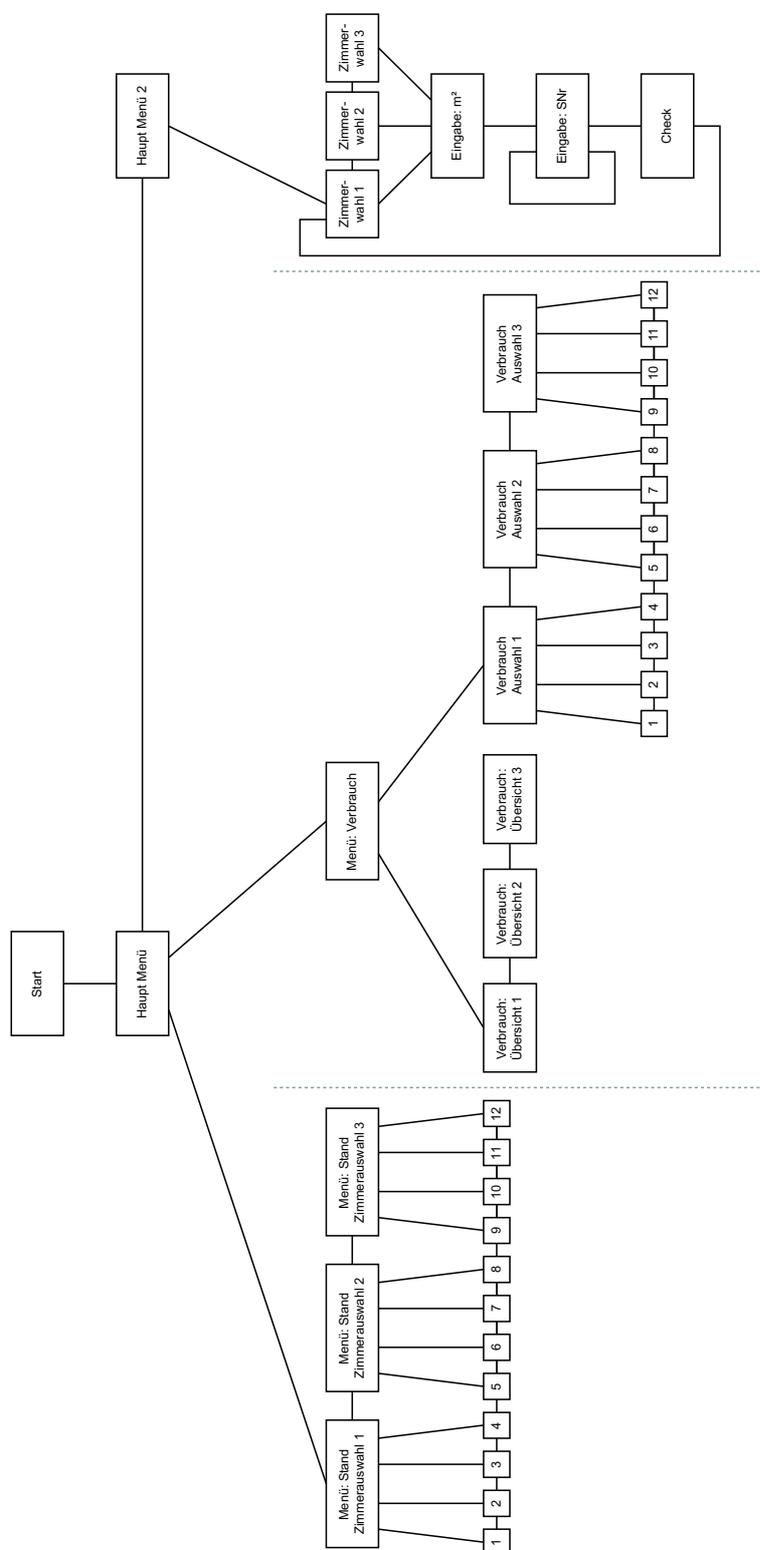


Abbildung A.2: Struktur der menügeführten Bedienoberfläche

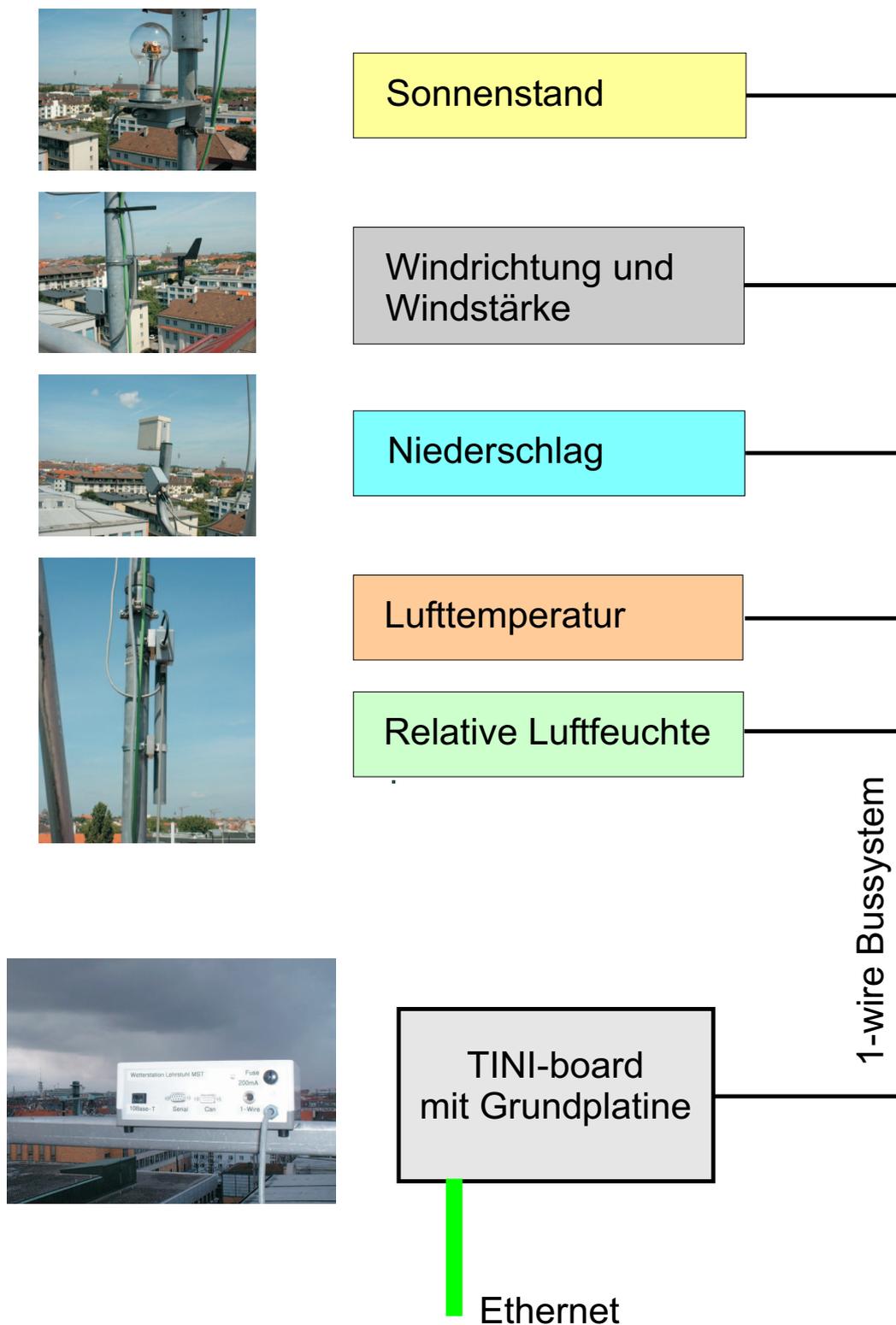


Abbildung A.3: Wetterstation unter Verwendung des 1-Wire Busses

Abkürzungsverzeichnis

ACK	Acknowledge
AES	Advanced Encryption Standard
AJP	Apache JServ Protocol
API	Application Programming Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASIC	Application-specific integrated circuit
ATEM	Automatische Teletransmission von Zählerständen Elektronischer Messgeräte
BCU	Bus Coupling Unit
CAN	Controller Area Network
CGI	Common Gateway Interface
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CTS	Clear To Send
DES	Data Encryption Standard
DFÜ	Datenfernübertragung
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSL	Digital Subscriber Line
DUART	Dual Asynchronous Receiver Transmitter
ED	Einschaltdauer
EIB	European Installation Bus
EIS	EIB Interworking Standard
EnEV	Energieeinsparverordnung
ESC	Escapezeichen, ASCII-Wert 27
FPGA	Field Programmable Gate Array
FTP	File Transfer Protocol
GUI	Graphical User Interface
HF	Hochfrequenz
HKV	Heizkostenverteiler
HKV-E	Elektronischer Heizkostenverteiler

HKV-V	Heizkostenverteiler nach Verdunstungsprinzip
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	HTTP über SSL
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ICMP	Internet Control Message Protocol
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific, Medical
ISO	International Organization for Standardization
ISOTEG	Innovative Systeme und Optimierte Techniken zur Energetischen Gebäudesanierung
ISR	Interrupt Service Routine
JDBC	Java Database Connectivity
JSP	Java Server Pages
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
LC	Liquid Crystal
LCD	Liquid Crystal Display
LON	Local Operating Networks
MAC	Media Access Control
MID	Magnetisch-induktive Durchflussmessung
MR	Match ROM Kommando
NACK	Not acknowledge
OFW	Oberflächenwelle(n)
ODBC	Open Database Connectivity
OSI	Open Systems Interconnection
PC	Personal Computer
PIN	Personal Identification Number
PP	Presence Pulse
RAM	Random Access Memory
R/W	Read/Write Operation
RP	Reset Pulse
RSA	Rivest Shamir Adleman
RTS	Ready To Send
SIMM	Single Inline Memory Module
SMD	Surface Mounted Device
SQL	Simple Query Language
SRAM	Static Random Access Memory
SSL	Secure Sockets Layer
TCP	Transfer Control Protocol
TINI	Tiny Internet Interface
TP-UART	Twisted Pair - Universal Asynchronous Receiver Transmitter

TTL	Transistor-Transistor-Logik
UDP	User Datagram Protocol
UNIX	Universal Interactive Executive
URL	Uniform Resource Locator
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web
ZAE	Zentrum für Angewandte Energieforschung

Symbolverzeichnis

A_0	Amplitude
A_i	Anzeige in Wohnung i
A_{wi}	Wohnfläche in Wohnung i
B	Magnetische Feldstärke
\cos	Cosinus Funktion
c_p	Faktor für Wärmehalt und Dichte
C	C-Wert eines Heizkörpers
d	Hammingdistanz
D	Durchmesser
E	Elektrische Feldstärke
E_T	Thermische Empfindlichkeit
f	Drehfrequenz der Turbinenachse
$F_{Lorentz}$	Lorentzkraft
F_E	Kraft im elektrischen Feld
Gt	Gradtagwert
i_1, i_2	Elektrische Stromstärke
k_e, k_m	Proportionalitätsfaktor
k_{PE}	Primärenergiefaktor
$k_{V(R)}$	Wärmeoeffizient
K_A	Korrekturfaktor der Anschlussart
K_C	Kontaktgüte
K_{Hi}	Auf Wohnung i entfallende Heizkosten
$K_{H,Geb.}$	Gesamte Heizkosten der Abrechnungseinheit
K_Q	Korrekturfaktor der Heizkörperwärmeleistung
K_T	Raumtemperaturauslegungs-Korrekturfaktor
K_{ges}	Gesamtbewertungsfaktor
Kd	Einheit Gradtag der Gradtagszahl
L	Abstand zwischen Sender und Empfänger
M_{el}	Elektrisches Moment
n	Drehzahl, Zählerstand

Δn	Zählerstands-differenz
n_H	Heizkörperexponent
N_{Lieg}	Anzahl der Liegenschaften
N_{LV}	Anzahl der Datenkonzentratoren pro Liegenschaft
N_N	Notwendige Nutzeranzahl
$N_{N,DK}$	Anzahl der Nutzer pro Datenkonzentrator
$N_{Sensor,Raum}$	Anzahl der Sensoren in einem Raum
N_{Vis}	Anzahl der Visualisierungseinheiten
N_W	Anzahl der Wohnungen
P_n	Heizkörpernormwärmeleistung
P_w	Elektrische Wirkleistung
$P(t)$	Wärmeleistung
q_e	Ladung
\dot{Q}	Heizkörperleistung
\dot{Q}_n	Heizkörpernormleistung
Q	Wärme, Energie
Q_m	Massendurchfluss
$Q_{Einspar}$	Eingesparte Heizenergie
\sin	Sinus Funktion
t, T	Zeit
t_1, t_2	Zeiten, Signallaufzeiten
Δt	Zeitspanne
U, u_1, u_2	Elektrische Spannung
U_{ind}	Induktionsspannung
v	Geschwindigkeit
\dot{V}	Volumendurchfluss
$\dot{V}_{V(R)}$	Volumendurchfluss am Messort
V_0	Volumen pro Achsumdrehung
V_{DK}	Verfügbarkeit eines Datenkonzentratoren
$V_{DK,Netz}$	Gesamtverfügbarkeit von Datenkonzentrator und Netz
$V_{Liegenschaft}$	Verfügbarkeit eines Liegenschaftssystems (zentrale Struktur)
V_{Netz}	Verfügbarkeit der Vernetzungskomponenten
$V_{Nutzer\ n}$	Verfügbarkeit der n-ten Systemstruktur aus Nutzersicht
$V_{Provider\ n}$	Verfügbarkeit der n-ten Systemstruktur aus Providersicht
V_{Server}	Verfügbarkeit des zentralen Servers
$V_{Server,Netz}$	Gesamtverfügbarkeit von zentralem Server und Netz
V_{Vis}	Verfügbarkeit einer Visualisierungseinheit
w	Wichtungsfaktor
W	Arbeit
W_{DK}	Jährlicher Energieverbrauch Datenkonzentrator

W_{Server}	Jährlicher Energieverbrauch Server
W_{Vis}	Jährlicher Energieverbrauch Visualisierung
ω	Kreisfrequenz
ϕ, ϕ_1, ϕ_2	magnetischer Fluss
φ	Phasenwinkel
π	Kreiszahl
$\vartheta_V(t), \vartheta_R(t)$	Zeitvariante Temperaturen am Vorlauf bzw. Rücklauf
ϑ_R	Raumlufttemperatur
ϑ_S	Sensortemperatur
$\overline{\vartheta_H}$	Mittlere Heizkörpertemperatur
$\Delta\vartheta$	Heizkörperübertemperatur
$\Delta\vartheta_n$	Heizkörperübertemperatur im Normzustand

Abbildungsverzeichnis

2.1	Prinzipielle Struktur eines Energiemonitoringsystems	13
2.2	Techem „Assisto“, Proprietäres Heimautomatisierungssystem mit einfacher Verbrauchskontrolle, Quelle: Techem	14
2.3	Prinzipdarstellung eines induktiven Durchflussmessers	16
2.4	Messprinzip eines Ultraschall-Durchflussmessers	17
2.5	Mechanischer Wasserzähler mit installiertem Impulskontakt, Quelle: Zenner GmbH	19
2.6	Aufbau eines Balgengaszählers, Quelle: Elster Amco	20
2.7	Balgengaszähler mit installiertem Impulsausgang, Quelle: Elster Amco	20
2.8	Aufbau eines Elektrizitätszählers nach dem Ferrarisprinzip . .	21
2.9	Schematischer Aufbau eines Wärmezählers	22
2.10	Elektronischer Wärmezähler vom Typ „Sensonic“, Quelle: Viterra Energy Services AG	23
2.11	Chemischer Heizkostenverteiler vom Typ „Exemper“, Quelle: Viterra Energy Services AG	24
2.12	Elektronischer Heizkostenverteiler vom Typ „Doprino“, Quelle: Viterra Energy Services AG	25
2.13	Vernetzung einzelner Sensoren und Aktoren über EIB	29
3.1	ISO/OSI-Modell im Vergleich zu TCP/IP-Protokollschichten .	40
3.2	Aufbau eines IP-Pakets	41
3.3	Aufbau eines TCP-Rahmens	42
3.4	Mögliche Anzeige des aktuellen Verbrauchsstands	47
3.5	Mögliche Anzeige von Vorjahresverbrauchswerten	47
4.1	Systemstruktur mit einzelner, unabhängiger Visualisierung . .	51
4.2	Vernetzte Visualisierungen und Liegenschaftszentrale	52
4.3	Vernetzte Visualisierungen über EIB	53
4.4	Internet-Visualisierung mit zentralem Server	54
4.5	Internet-Energiemonitoring	54

4.6	Einzelne Visualisierung aus Nutzersicht	56
4.7	Einzelne Visualisierungen aus Providersicht	57
4.8	Vernetzte Visualisierungen aus Nutzersicht	57
4.9	Vernetzte Visualisierungen aus Providersicht	58
4.10	Internet-Visualisierung aus Nutzersicht	59
4.11	Internet-Visualisierung aus Providersicht	60
4.12	Empfängermodul des ATEM-Standards	62
4.13	Prinzipieller Aufbau eines ATEM-Telegramms	62
4.14	Handprogrammiergerät der Viterra Energy Services AG	63
4.15	Optokopf für die Programmierung der Sensorik	63
4.16	Nachrichtenablauf auf dem 1-Wire Bus	65
4.17	1-Wire Busmoduls zur Impulszähleranbindung	65
4.18	Blockschaltbild der grafischen Visualisierung	67
4.19	Buskoppler zum Geräteeinbau und TP-UART Chip	68
4.20	Grafisches LC-Display mit Touchscreen, Quelle: Electronic As- sembly	69
4.21	Prototyp der Visualisierungseinheit auf gedruckter Schaltung .	71
4.22	TINI-board der Firma Maxim/Dallas Semiconductor	72
4.23	TINI-Grundplatine zur Nutzung vielfältiger Schnittstellen . .	72
4.24	Blockschaltbild des PC104 Stapels	74
4.25	Embedded PC zur Verbrauchsdatenspeicherung	75
4.26	Demonstrationssystem des zentralen Datenservers	75
4.27	Übersicht über die Module der Visualisierungssoftware	78
4.28	Software-Strukturen zur Datenspeicherung	79
4.29	Screen „Stand“	81
4.30	Screen „Verbrauch“	81
4.31	Screen „Kumulierter Jahresverbrauch pro Raum“	82
4.32	Eingabemaske zur Sensordatenkonfiguration	84
4.33	Konfigurationsprozess als Nassi-Shneiderman-Diagramm	85
4.34	Übersicht über die Module der Visualisierungssoftware	86
4.35	Funktionsmodule der Visualisierungssoftware via Internet	89
4.36	Anmeldedialog des Visualisierungssapplets	91
4.37	Darstellung der aktuellen Zählerstände im Applet	92
4.38	SSL Protokollschichten	93
4.39	Kommunikationsablauf bei der Etablierung eines SSL-Kanals .	94
4.40	Funktionsmodule der Serversoftware	96
4.41	Interne Module der Java-Serverlösung	99
4.42	Prinzipdarstellung der Datenreduzierung	101
4.43	Aufruf des Servlets	102
4.44	Totzeiten bei der Datenübertragung	108

6.1	Struktur der Installation	122
6.2	Installierter Prototyp eines EIB-Datenkonzentrators (Pfeil) . .	123
6.3	Modellaufbau für ein Energiemonitoringsystem	124
6.4	Messwerte des Demonstrators	125
6.5	Detaillierter Messwertverlauf eines Heizkostenverteilers	126
6.6	Detaillierter Vergleich von vier HKV-E	127
7.1	Standard EIB Visualisierung	129
7.2	Aktive OFW Sensorik zur Temperaturmessung	130
A.1	Erster Laboraufbau der grafischen Visualisierung	136
A.2	Struktur der menügeführten Bedienoberfläche	137
A.3	Wetterstation unter Verwendung des 1-Wire Busses	138

Tabellenverzeichnis

2.1	Verwendete Bezeichnungen bei Heizkostenverteilern	23
2.2	Bewertungsfaktoren für Heizkostenverteiler nach DIN 4713 . .	26
2.3	Verwendete Bezeichnungen bei der Heizkostenberechnung . . .	32
3.1	Datentypen des EIS	39
3.2	Angenommenes Datenformat, Gesamtlänge: 12Byte	44
4.1	Bezeichnungen und Annahmen zur Verfügbarkeitsuntersuchung	55
4.2	Verwendete Bezeichnungen und Annahmen bei Anzeigefehlern	108
4.3	Scheinleistungsaufnahme und jährlicher Energieverbrauch . . .	110
4.4	Verwendete Bezeichnungen zur Abschätzung der Rentabilität .	111
5.1	Energieverbrauchsbewertung bezogen auf die Raumfläche . . .	119

Literaturverzeichnis

- [Adv00] ADVANCED MICRO DEVICES INC.: *Datasheet Am29LV400B: 4 MegaBit (512Kx8-Bit/256Kx16-Bit) CMOS 3.0Volt-only Boot Sector Flash Memory*, January 2000.
- [Apa02a] APACHE SOFTWARE FOUNDATION: *The Apache Webserver Project*. Website: <http://www.apache.org>, 2002.
- [Apa02b] APACHE SOFTWARE FOUNDATION: *The Jakarta Project*. Website: <http://jakarta.apache.org>, 2002.
- [Arz00] ARZ, MICHAEL: *Entwicklung eines Datenkonzentrators zum Energiemonitoring*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik, Technische Universität München, Mai 2000.
- [AWC⁺01] AXMARK, DAVID, MICHAEL WIDENIUS, JEREMY COLE, ARJEN LEUTZ und PAUL DUBOIS: *MySQL Reference Manual*. MySQL AB, 2001.
- [Bal99] BALZER, JÜRGEN: *Homeautomation: Von den Anfängen der Elektrifizierung bis zur Gegenwart*. Technik am Bau, TAB, 749:Nr.6/99, S. 61–64, 1999.
- [BDF01] BECK, ANDREAS, VOLKER DRACH und JOCHEN FRICKE: *Innovative Systeme und Optimierte Techniken zur Energetischen Gebäudesanierung: Abschlussbericht zum Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben ISOTEG*. ZAE Bayern, Würzburg, 2001.
- [Bin00] BINTERNAGEL, LARS: *Energiemonitoring in der Haustechnik*. In: *Sensoren und Messsysteme 2000*. VDI/VDE-GMA, März 2000.
- [BM00] BINTERNAGEL, LARS und GÜNTER MÜGGE: *Energie-Monitoring: Visualisierung des Energieverbrauchs*. HLH, 51:Nr.9, Seiten 82–83, 2000.

- [Bra99] BRAUN, HANS-PETER: *Facility Management*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 1999.
- [BS01] BINTERNAGEL, LARS und FRIEDRICH SCHNEIDER: *Intelligente Systeme für Gebäude*. In: *Energieeffizienz im Bauwesen*, Seiten 117–126. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern, Dezember 2001.
- [BSK⁺01] BINTERNAGEL, LARS, FRIEDRICH SCHNEIDER, YURIY KYSELYTSYA, WOLFGANG MÜLLER, THOMAS SCHLÜTSMEIER, BERNHARD SCHREYER, KAY WERTHSCHULTE, ROSTISLAV STOLYAR, GÜNTER WESTERMEIR, DIRK WÖLFLE und THOMAS WEINZIERL: *Sensors in Intelligent Buildings: Sensors Applications*, Band 2, Kapitel System Technologies for Private Homes, Seiten 511–556. O. Gassmann und H. Meixner (Herausgeber), WILEY-VCH Verlag GmbH, 2001.
- [BSMS00] BINTERNAGEL, LARS, FRIEDRICH SCHNEIDER, WOLFGANG MÜLLER und ROSTISLAV STOLYAR: *New technology connecting EIB to computers and Energy-Monitoring*. In: *EIB Event 2000 - Scientific Conference*. EIB Scientific Partnership Forum, Technische Universität München, Oktober 2000.
- [Bun88] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT (Herausgeber): *BGBl. I 1988, 1657*: Eichordnung. Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn, August 1988.
- [Bun89] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT (Herausgeber): *BGBl. I, S.115ff.*: *Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über Heizkostenabrechnung*. Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn, Januar 1989.
- [Bun91] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT (Herausgeber): *Verbrauchsabhängige Abrechnung*. Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn, Juni 1991.
- [Bun01] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (Herausgeber): *BGBl. I, S.3085ff.*: *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV)*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn, November 2001.
- [Cle83] CLEMENS, B.: *Strategien zur Verhaltensbeeinflussung bei privaten Energienachfragern*. Doktorarbeit, FU-Berlin, 1983.

- [Dal95] DALLAS SEMICONDUCTOR: *Application Note 106: Complex Micro-LANs*, 1995.
- [Dal99a] DALLAS SEMICONDUCTOR: *Datasheet DS2422/DS2423: 1-kbit/4-kbit 1-Wire RAM with Counter*, September 1999.
- [Dal99b] DALLAS SEMICONDUCTOR: *Datasheet DS80C320/DS80C323: Highspeed/Low-Power Micro*, 1999.
- [Dal02] DALLAS SEMICONDUCTOR: *iButton and TINI Website*. Website: <http://www.ibutton.com>, 2002.
- [Deu01] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (Herausgeber): *DIN V4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10*. Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, 2001-02 Auflage, 2001.
- [DIN94] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (Herausgeber): *DIN EN834: Heizkostenverteiler für die Verbrauchserfassung von Raumheizflächen*. Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, 1994-11 Auflage, 1994.
- [Dro97] DROMS, RALPH: *RFC 2131: Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)*. Bucknell University Lewisburg, 323 Dana Engineering, Lewisburg PA 17837, March 1997.
- [Ech02] ECHELON CORPORATION: *LON and LONworks technology Website*. Website: <http://www.echelon.com>, 2002.
- [EH97] EICKE-HENNIG, WERNER: *Der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Heizwärmeverbrauch von Wohngebäuden*. Die freie Wohnungswirtschaft, September 1997.
- [EIB98] EIBA: *The EIB Handbook Release 3.0, Version 1.0*. EIB Association, Brussels, 1998.
- [Ele01] ELECTRONIC ASSEMBLY: *Datenblatt EA Kit160-6: Bedieneinheit mit Fonts, Grafikbefehlen und Makros*, Mai 2001.
- [EnO02] ENOCEAN GMBH: *enOcean: The Power of unused Energy*. Website: <http://www.enocean.de>, 2002.
- [Ert01] ERTEL, WOLFGANG: *Angewandte Kryptographie*. Fachbuchverlag Leipzig, Hanser Verlag, 2001.

- [Fea99] FIELDING, ROY T. und ET AL.: *RFC 2616: Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1*. The Internet Society, June 1999.
- [FK96] FREIER, ALAN O. und PAUL C. KOCHER: *Internet-Draft: The SSL-Protocol Version 3.0*. Netscape Communications, 466 Ellis Street, Mountain View, CA 94042-4042, November 1996.
- [GHJV96] GAMMA, ERICH, RICHARD HELM, RALPH JOHNSON und JOHN VLISSIDES: *Entwurfsmuster: Elemente wiederverwendbarer objekt-orientierter Software*. Addison Wesley Publishing Company, München, 1. Auflage, 1996.
- [Gla98] GLATZER, WOLFGANG: *Revolution in der Haushaltstechnologie*. Campus Verlag, Frankfurt am Main, 1998.
- [Hal95] HALSALL, FRED: *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*. Addison Wesley Publishing Company, 4. Auflage, 1995.
- [Ham] HAMPEL, ARMIN: *Anwendungstechnische Grundlagen der „ista“-Heizkostenverteiler auf Verdunstungsbasis, Teil I bis IV*. Institut für Wärme- und Kältetechnik an der Fachschule für Technik, Mannheim.
- [Hon02] HONEYWELL AG: *Hometronic Website*. Website: <http://www.hometronic.de>, 2002.
- [Jos94] JOSUTTIS, NICOLAI: *Objektorientiertes Programmieren in C++: Von der Klasse zur Klassenbibliothek*. Addison-Wesley, Bonn, Paris, 1994.
- [Kün79] KÜNZEL, H.: *Repräsentativumfrage über die Heiz- und Lüftungsverhältnisse in Wohnungen*. Gesundheits-Ingenieur, 9, 1979.
- [Kre88] KREUZBERG, JOACHIM: *Handbuch der Heizkostenabrechnung: Zentralheizung und Fernwärme*. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988.
- [Kru98] KRUGLINSKI, DAVID J.: *Inside Visual C++ 6.0*. Microsoft Press Deutschland, Unterschleißheim, 1998.
- [Kup93] KUPPLER, FRIEDEMANN: *Heizkosten richtig erfassen und verteilen: Geräteübersicht, Praxiserfahrungen, Kostenverteilung*, Band 132 der Reihe *Kontakt und Studium*. expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 2., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage, 1993.

- [Loo01] LOOMIS, DON: *The TINI Specification and Developer's Guide*. Addison Wesley Publishing Company, Boston, 2001.
- [M-B98] M-BUS USERGROUP: *The M-Bus: A Documentation Rev. 4.8*. Website: <http://www.m-bus.com>, Mai 1998.
- [MC79] MCCLELLAND, L. und S. COOK: *Energy Conservation Effects of continous in-home feedback in all-electric homes*. Journal of Environmental Systems, 9, 1979.
- [Mey90] MEYER, BERTRAND: *Objektorientierte Softwareentwicklung*. Hanser Verlag, München, 1990.
- [Müg93a] MÜGGE, GÜNTER: *Die Bandbreite des Heizenergieverbrauchs: Analyse theoretischer Einflussgrößen und praktischer Verbrauchsmessungen*. Dissertation, TU Berlin, Düsseldorf, 1993. Reihe 19, Nr. 69.
- [Müg93b] MÜGGE, GÜNTER: *Vergleich verschiedener Heizkostenverteilsysteme: Simulationsuntersuchung ermittelt Verteilfehler unter verschiedenen Bedingungen*. HLH, 44:Nr.2, Seiten 77–81 und Nr.3, Seiten 153–157, 1993.
- [MS98] MATTHES, FLORIAN und JOACHIM W. SCHMIDT: *Datenbankhandbuch: Datenbankmodelle und Datenbanksprachen*. Harburger Schloßstr. 20, D-22527 Hamburg, Januar 1998.
- [MU97] MATTHIESSEN, GÜNTER und MICHAEL UNTERSTEIN: *Relationale Datenbanken und SQL*. Addison Wesley Longman Verlag, Bonn, 1997.
- [Ope02] OPENSSL PROJECT: *Welcome to the OpenSSL Project*. Website: <http://www.openssl.org>, 2002.
- [O'R01] O'REILLY ONLAMP.COM: *FreeBSD Basics: TCP Protocol Layers Explained*. Website: <http://www.onlamp.com>, März 2001.
- [PE00] PT-ENERGIEMANAGEMENT: *PC-Software für Energiemanagement*. Website: <http://www.pt-energiemanagement.de>, 2000.
- [Per96] PERUZZO, GUIDO: *Heizkostenabrechnung nach Verbrauch: Kommentar und Anleitung für die Praxis*. Luchterhand Fachbuch Verlag, Neuwied, 5., grundlegend überarbeitete und wesentlich erweiterte Auflage, 1996.

- [Phi98] PHILIPS SEMICONDUCTORS: *Data Sheet SCN2681: Dual asynchronous receiver/transmitter (DUART)*, September 1998.
- [Phy96] PHYTEC MESSTECHNIK: *microModul-6 Hardware-Manual*, 2. Auflage, Januar 1996.
- [Pos81a] POSTEL, JON (Herausgeber): *RFC 791: Internet Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification*. University of Southern California, 4676 Admiralty Way, Marina del Rey, California 90291, September 1981.
- [Pos81b] POSTEL, JON (Herausgeber): *RFC 793: Transmission Control Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification*. University of Southern California, 4676 Admiralty Way, Marina del Rey, California 90291, September 1981.
- [PR85] POSTEL, JON und JOYCE REYNOLDS (Herausgeber): *RFC 959: File Transfer Protocol (FTP)*. University of Southern California, 4676 Admiralty Way, Marina del Rey, California 90291, October 1985.
- [Pre78] PREUSS, HEINRICH: *Zuverlässigkeit elektronischer Einrichtungen*. VEB Verlag Technik Berlin, 2., bearbeitete Auflage, 1978.
- [Sch84] SCHRÜFER, ELMAR: *Zuverlässigkeit von Mess- und Automatisierungseinrichtungen*. Carl-Hanser Verlag, München Wien, 1984.
- [Sch95] SCHRÜFER, ELMAR: *Elektrische Messtechnik: Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen*. Carl-Hanser Verlag, München Wien, 6. erweiterte Auflage, 1995.
- [Sch00] SCHWARZHOFF, GISBERT: *Nutzverhalten in Gebäuden*. VDI-Verlag, Nierstein, 2000. VDI-Berichte Nr. 1531.
- [Sch02] SCHMIDTHALS, MALTE: *Knowledge for all: 50/50 Startwerte sind kein Geheimwissen*. Website: <http://www.ufu.de>, 2002.
- [ST01] SCHNEIDER, FRIEDRICH und HANS-ROLF TRÄNKLER: *Das intelligente Haus: Wohnen und Arbeiten mit zukunftsweisender Technik*. Richard Pflaum Verlag, München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg, 2001.
- [Sta01] STADLER, INGO: *Dialogfähige Energiemanagementsysteme im Kontext von Energieverbrauch und Nutzerverhalten*. Dissertation, Universität Kassel, 2001.

- [Ste00] STEINMÜLLER, BERND: *Potenziale für mehr Klimaschutz im Wohnsektor: Einsparmöglichkeiten im Gebäudebestand*. KfW-Beiträge zur Mittelstands- und Strukturpolitik, 14:S.29–37, 2000.
- [SUN00a] SUN MICROSYSTEMS INC., 901 San Antonio Road, Palo Alto, California 94303-4900 U.S.A.: *Java 2 SDK - JDBC: Standard Edition Documentation*, 2000.
- [SUN00b] SUN MICROSYSTEMS INC., 901 San Antonio Road, Palo Alto, California 94303-4900 U.S.A.: *Java 2 SDK: Standard Edition Documentation*, 2000.
- [Tec01] TECHEM SERVICE AG: *Techem Assisto Website*. Website: <http://www.assisto.de>, alternativ: <http://www.techem.de>, 2001.
- [Umw00] UMWELTBUNDESAMT: *Presse-Information Nr.40/00: Heizen mit Köpfchen gegen hohe Preise*. Umweltbundesamt, Berlin, 2000.
- [Uni01] UNIVERSITY OF CALIFORNIA: *Ptolemy II system: Ptplot 5.1p2 - Java Plotter*, 2001.
- [Wag98] WAGNER, ULRICH: *Energieanalyse und Facility Management: Tagungsband zum Fachseminar am 29./30. April 1998 im Kurzentrum Schliersee*. Energie und Management Verlagsgesellschaft, Herrsching, 1998.
- [Wei01] WEINZIERL, THOMAS: *Integriertes Managementkonzept für die Gebäudetechnik: Softwarelösungen für den kostengünstigen Betrieb von Wohn- und Funktionsbauten*. Richard Pflaum Verlag, München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg, 2001.
- [Zen97] ZENTRALVERBAND ELEKTROTECHNIK- UND ELEKTRONIKINDUSTRIE (Herausgeber): *Handbuch Gebäudesystemtechnik, Grundlagen*. Zentralverband der Deutschen Elektrohandwerke, Frankfurt am Main, 4. Auflage, 1997.