

Anangepasste Kommunikationssysteme für den effizienten Einsatz in dezentralen elektrischen Versorgungsstrukturen

**Dissertation zur
Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
im Fachbereich 16 Elektrotechnik / Informatik
der Universität Kassel
von:**

Dipl.-Ing. Volker Schlebusch

Eingereicht im: Juli 2006

Datum der Disputation: 2. November 2006

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation	1
2 Dezentrale elektrische Versorgungsstrukturen	5
2.1 Abstraktion des Begriffs <i>dezentrale elektrische Versorgungsstrukturen</i>	5
2.2 Wirtschaftliche Randbedingungen dezentraler Versorgungsstrukturen	8
2.2.1 Einkommensstruktur	8
2.2.2 Elektrizitätsbedarf und prognostizierte Ausgaben	9
2.2.3 Pauschalisierte Ausgaben für Kommunikation	12
3 Entscheidungsfindungsprozess zur Auswahl von Kommunikationssystemen	15
3.1 Gesamtheitlicher Ansatz und Randbedingungen	15
3.2 Festlegung der erforderlichen Bewertungskriterien	18
3.2.1 Systempräferenz	18
3.2.1.1 Systemdienstleister	18
3.2.1.2 Schnittstellendefinition	19
3.2.1.3 Systemstandardisierung	19
3.2.1.4 Marktdurchdringung	20
3.2.2 Qualitätsmerkmale	20
3.2.2.1 Zuverlässigkeit	20
3.2.2.2 Verfügbarkeit	21
3.2.2.3 Datenintegrität	21
3.2.3 Kommunikationsaufwand	22
3.2.3.1 Nutzdatenübertragungsrate	22
3.2.3.2 Effizienz	23
3.2.4 Teilnehmerkenngrößen	23
3.2.4.1 Übertragungsdistanz	23
3.2.4.2 Teilnehmeranzahl	24
3.2.4.3 Bandbreite	24
3.2.4.4 Duty Cycle	25
3.2.4.5 Frequenznutzung	25
3.2.4.6 Topografische und morphologische Abhängigkeit	26
3.2.4.7 Klimatische Abhängigkeit	27
3.2.5 Teilnehmerinteraktion	28
3.2.5.1 Interaktionsrichtung	28
3.2.5.2 Betriebsart	29

3.2.6	Applikationsaufwand	29
3.2.6.1	Integration	29
3.2.6.2	Instandhaltung	29
3.2.6.3	Erweiterbarkeit	30
3.3	Festlegung der Bewertungstypen und Notenvergabe	30
3.3.1	Bewertungstypen und Maßstäbe für die Systempräferenz	31
3.3.2	Bewertungstypen und Maßstäbe für die Qualitätsmerkmale	32
3.3.3	Bewertungstypen und Maßstäbe für den Kommunikationsaufwand	34
3.3.4	Bewertungstypen und Maßstäbe für die Teilnehmerkenngroße	35
3.3.5	Bewertungstypen und Maßstäbe für die Teilnehmerinteraktion	39
3.3.6	Bewertungstypen und Maßstäbe für den Applikationsaufwand	40
3.4	Einordnung und Notenberechnung der zur Auswahl stehenden Kommunikationssysteme	41
3.5	Nutzenfunktion für Bewertungskriterien	41
3.6	Festlegung der Gewichtungsfaktoren	43
3.7	Berechnung des Erwartungsnutzen	47
3.8	Ökonomische Betrachtung	48
3.9	Auswahl des Bezugssystems	49
3.10	4-Quadranten-Matrix und Systemauswahl	50
4	Providerbasierte Kommunikationssysteme	55
4.1	Leitungsbasierte Carrier-Netze (öffentliches Telefonnetz)	55
4.1.1	Verfügbarkeit von leitungsbasierten Telefonnetzen in dezentralen Versorgungsstrukturen	56
4.2	Funkbasierte Carrier-Netze (öffentliches Mobilfunknetz)	58
4.2.1	Global System for Mobil Communication (GSM)	58
4.2.2	Verfügbarkeit von öffentlichen Mobilfunksystemen in dezentralen Versorgungsstrukturen	61
4.3	Nicht ergebundene Carrier-Netze (Satellitenkommunikationssysteme)	63
5	Nicht-providerbasierte Kommunikationssysteme	67
5.1	Funkbasierte Kommunikationssysteme	67
5.1.1	Funksysteme des VHF- und UHF-Bandes	68
5.1.1.1	Packet-Radio und Betriebsfunk im VHF-Band	68
5.1.1.2	Funksysteme im ISM-Band	69
5.1.1.2.1	2,4 GHz-ISM-Band	70
5.1.1.3	Zuteilungspflichtige Funksysteme im UHF-Band	71
5.1.1.3.1	869 MHz-Band	71
5.1.1.3.2	459 MHz-Band	72

5.2	Leitungsbasierte Kommunikationssysteme	73
5.2.1	Leitungsbasierte Bussysteme	74
5.2.2	Distribution Line Carrier Systeme	75
5.2.2.1	Frequenz- und Sendeparameter für PLC-Systeme	76
5.2.2.2	Übertragungseigenschaften	78
5.2.2.3	Störszenarien	79
5.2.2.4	Modulationsarten	80
5.2.2.4.1	Single-Carrier-Systeme	81
5.2.2.4.2	Mehrträgerverfahren	81
5.2.2.4.3	Bandspreizende Mehrträgerverfahren	86
6	Exemplarische Systemauswahl	89
6.1	Festlegung des Beispielszenarios	89
6.2	Erwartungsnutzen der Beispieldaten	92
6.3	Ökonomische Bewertung der Beispieldaten	92
6.4	4-Quadrantenmatrix für Beispielszenario	94
7	Anpassung eines Kommunikationssystems für den Einsatz in dezentralen Versorgungsstrukturen	99
7.1	Vernetzung dezentraler Strukturen mit DLC-Systemen	99
7.1.1	Auswahl und Implementierung des Referenzsystems	99
7.1.1.1	Analyse des Übertragungsmediums	101
7.1.2	Modifikation der DLC-Kommunikationsstruktur	107
7.1.2.1	Modifikation für den Informationaustausch zwischen DLC-Endpunkten	108
7.1.2.2	Strukturangepassung für eine TCP/IP-Übertragung	108
7.1.2.2.1	Anbindung unterlagerter Subnetze (Routing)	109
7.1.2.2.2	CSLIP zur Konvertierung der paketorientierten Übertragung	111
7.1.2.2.3	Gateway-Recheneranpassung für DLC-kompatible Formate	113
7.1.3	Praktische Erfahrungen mit modifiziertem DLC-System	115
7.1.3.1	Datenrate der DLC-Übertragung	115
7.1.3.2	Datenbankabfragen via DLC-System	116
8	Zusammenfassung und Ausblick	121
	Literaturverzeichnis	125
	Glossar	135

Formelzeichen	141
Abbildungsverzeichnis	143
Tabellenverzeichnis	145