

**Angepasste 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**

<b>Eingereicht im:</b>	<b>Juli 2006</b>
<b>Datum der Disputation:</b>	<b>2. November 2006</b>
<b>1. Gutachter:</b>	<b>Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid</b>
<b>2. Gutachter:</b>	<b>Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Dezentrale elektrische Versorgungsstrukturen</b>	<b>5</b>
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
<b>3</b>	<b>Entscheidungsfindungsprozess zur Auswahl von Kommunikationssystemen</b>	<b>15</b>
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 Teilnehmerkenngröße . . . . .	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
<b>4</b>	<b>Providerbasierte Kommunikationssysteme</b>	<b>55</b>
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 erdgebundene Carrier-Netze (Satellitenkommunikationssysteme) . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Nicht-providerbasierte Kommunikationssysteme</b>	<b>67</b>
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
<b>6</b>	<b>Exemplarische Systemauswahl</b>	<b>89</b>
6.1	Festlegung des Beispielszenarios . . . . .	89
6.2	Erwartungsnutzen der Beispielsysteme . . . . .	92
6.3	Ökonomische Bewertung der Beispielsysteme . . . . .	92
6.4	4-Quadrantenmatrix für Beispielszenario . . . . .	94
<b>7</b>	<b>Anpassung eines Kommunikationssystems für den Einsatz in dezentralen Versorgungsstrukturen</b>	<b>99</b>
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 Informationsaustausch zwischen DLC-Endpunkten . . . . .	108
7.1.2.2	Strukturanpassung 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-Rechneranpassung 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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>121</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>125</b>
	<b>Glossar</b>	<b>135</b>

<b>Formelzeichen</b>	<b>141</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>143</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>145</b>