

1	Einleitung	1
2	Energie–Monitoring und Lastüberwachung	3
2.1	Stand der Technik, Energie–Monitoring im privaten Haushalt	3
2.2	Streifzug durch verschiedene NIALM–Ansätze	6
3	Anforderungen an ein stationäres Energie–Monitoring–System im privaten Haushalt	11
3.1	Eigenschaften eines optimalen Energie–Monitoring–System	11
3.2	Motivation der Versorgungsnetzbetreiber	12
3.2.1	Notwendigkeit für diesen Dienst (Kundenbindung)	13
3.2.2	Auslesung der Zähler	14
3.2.3	Ist–Zustand Zählertechnik privater Haushalte in Deutschland	15
3.2.4	Eichgesetz, Eichgültigkeit und Stichprobenverfahren	16
3.2.5	Einfluss des EMV–Gesetz	17
3.3	Motivation aus Sicht der Haushalte	18
3.3.1	Einsparpotenzial kontra Systemkosten	19
3.4	Zusammenfassung der Anforderungen	21
4	Anforderungen an die Messtechnik	22
4.1	Datenauflösung und Zählerkonstante	22
4.2	Optischer Sensor zur Erfassung der Wirkleistung am Ferrariszähler	24
4.2.1	Bereinigung von Störeinflüssen	29
4.3	Auswirkung der Mittelwertbildung auf Einschaltvorgänge elektrischer Verbraucher	30
4.4	Methode zur Detektion der Schaltereignisse basierend auf der Energie der Schaltereignisse	34
4.5	Detektion von Schaltereignissen	36
5	Eigenschaften elektrischer Endverbraucher im Haushalt	42
5.1	Klassifizierung von Haushaltsverbrauchern	42
5.2	Erkennbarkeit der Geräteklassen	45
5.3	Bewertung elektrischer Verbraucher in Bezug auf das Einsparpotenzial	47
5.4	Modellierung elektrischer Verbraucher	49
5.4.1	Charakteristische Eigenschaften	49
6	Neuer selbsterkennender NIALM Algorithmus	55
6.1	Neuer Ansatz Gesamtansatz zur Analyse von Laständerungen	57
6.1.1	Ansatz zur Bewertung der Verbrauchermodelle	60
6.2	Clustern der Schaltereignisse	62
6.2.1	ISODATA– Clusterverfahren nach Ball u. Hall	62
6.2.2	Fuzzy–Clusterverfahren	65
6.2.3	Clustern mit Self Organizing Maps	68
6.2.4	Zusammenfassung Clusterverfahren	74
6.2.5	Funktionen zur Bewertung der Verbrauchermodelle	74
6.3	Genetischer Algorithmus zur Selektion der Verbrauchermodelle	77
6.3.1	Festlegung der Parameter des Genetischen Algorithmus	78
6.3.2	Bewertung und Zielfunktion, Ersetzungsschema	79
6.3.3	Rekombination, Crossover	79
6.3.4	Mutation	80
6.4	Zeitreihenoptimierung der generierten Zustandsautomaten	84
6.4.1	Erzeugung von Schaltsequenzen	84
6.4.2	Bewertung der Schaltsequenzen	89
6.5	Auflösung von Multireferenzen auf Schaltereignisse	93
6.5.1	Praktische Umsetzung der Auflösung von Mehrfachreferenzen	93
7	Testläufe und Ergebnisse	98
7.1	Datenbasis	98

7.2	Auswertung simulierter Lastverläufe	102
7.2.1	Clustern der Schaltereignisse des Testparks	102
7.2.2	Erzeugen der Verbrauchermodelle – Ergebnisse des Genetischen Algorithmus	107
7.2.3	Optimierung der Zeitreihen	109
7.2.4	Fazit zur Analyse simulierter Daten	114
7.3	Auswertung realer Lastverläufe	115
7.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	122
8	Zusammenfassung und Ausblick	123
A.	Anhang	126
A.1.	Potenziale eines Energie-Monitoring Systems im Haushalt	126
A.1.1.	Transparenz im "Strombedarf"	127
A.1.2.	Kontrolle von Haushaltsgeräten	128
A.1.3.	Fernüberwachung des Haushalts	129
A.1.4.	Lastmanagement	130
A.2.	Topologiebetrachtungen zum Energie Monitoring im privaten Haushalt	132
A.2.1.	Abschätzungen zur Datenerfassungseinheit	137
A.2.2.	Datenarchivierung, Datenvolumen	139
A.2.3.	Datenübertragung aus dem Zählerkasten	142
A.2.4.	Betrachtungen zur Visualisierung	144
A.2.5.	Externe Vernetzung	145
A.2.6.	Der elektronische Haushaltszähler (eHZ)	146
A.3.	Technische Komponenten des Energie-Monitorings	147
B.	Zählertechnik im Haushalt	154
B.1.	Eigenschaften der elektromechanischen Drehstromzähler (Ferrariszähler)	154
B.1.1.	Elektronische Drehstromzähler und Multifunktionszähler	155
B.1.2.	Optische Tastköpfe für Drehstromzähler	157
C.	Anhang – Statistische Daten privater Haushalte	158
D.	Zur Datenauflösung der Erfassungseinheit	160
D.1.	Grundsätzliche Annahmen	160
D.1.1.	Datenvolumen ohne Komprimierung	160
D.1.2.	Komprimierung der Daten	161
D.1.3.	Datenvolumen bei Komprimierung von Events	161
D.2.	Datenvolumen des optimalen Systems	163
D.2.1.	Berechnung der Dimension des Lösungsraumes aller Kombinationen	164
E.	Anhang Modellierung von Verbrauchermodellen	166
E.1.	Endliche Zustandsautomaten	166
E.1.1.	Permutationen	167
E.1.2.	Variationen	167
E.1.3.	Kombinationen	167
F.	Grundlagen Genetischer Algorithmen	168
F.1.	Entstehungsabriss zu den Genetischen Algorithmen	168
F.2.	Grundgerüst eines Genetischen Algorithmus	169
F.2.1.	Codierung	169
F.2.2.	Fitness- und Bewertungsfunktion	170
F.2.3.	Crossover und Rekombination	172
G.	Literaturverzeichnis	174