

# Integrierte Low-Cost eHome-Systeme

Prozesse und Infrastrukturen

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung  
des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Informatiker  
Michael Kirchhof

aus Neuss

Berichter:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Nagl, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen  
Prof. Dr. Harald C. Gall, Universität Zürich, Schweiz

Tag der mündlichen Prüfung: 18.10.2005

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                         |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>                                                       | <b>1</b>  |
| 1.1      | Motivation . . . . .                                                    | 2         |
| 1.2      | Anwendungsfelder für eHome-Systeme . . . . .                            | 4         |
| 1.3      | Stand der Technik . . . . .                                             | 5         |
| 1.3.1    | Vorhandene Systeme (0G) . . . . .                                       | 6         |
| 1.3.2    | eHome-Systeme der ersten Generation (1G) - Am Markt verfügbar . . . . . | 7         |
| 1.3.3    | eHome-Systeme der zweiten Generation (2G) - Stand der Technik . . . . . | 9         |
| 1.4      | eHome-Systeme der dritten Generation (3G) - Die Vision . . . . .        | 18        |
| 1.5      | Problemskizze: Übergang von 2G- zu 3G-Systemen . . . . .                | 21        |
| 1.6      | Lösungsskizze . . . . .                                                 | 25        |
| 1.7      | Gegenstand der Arbeit . . . . .                                         | 27        |
| 1.8      | Wissenschaftlicher Beitrag . . . . .                                    | 28        |
| 1.9      | Aufbau der Arbeit . . . . .                                             | 28        |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>                                                       | <b>31</b> |
| 2.1      | Komponentenbasierte Software-Entwicklung . . . . .                      | 31        |
| 2.2      | Java-Spezifika . . . . .                                                | 33        |
| 2.2.1    | ClassLoader-Konzept . . . . .                                           | 34        |
| 2.2.2    | Unveränderliche Klassen . . . . .                                       | 34        |
| 2.2.3    | Automatische Speicherverwaltung und spezielle Referenz-Typen . . . . .  | 34        |
| 2.2.4    | Persistenztechniken in Java . . . . .                                   | 35        |
| 2.2.5    | Java-Web-Start . . . . .                                                | 38        |
| 2.3      | Open Services Gateway Initiative (OSGi) . . . . .                       | 38        |
| 2.4      | Workflow-Management . . . . .                                           | 42        |
| 2.4.1    | XML Process Definition Language (XPDL) . . . . .                        | 43        |
| 2.4.2    | Workflow-Muster . . . . .                                               | 44        |
| 2.4.3    | Shark . . . . .                                                         | 47        |
| <b>3</b> | <b>Anwendungsszenarien</b>                                              | <b>49</b> |
| 3.1      | Struktur von eHome-Systemen . . . . .                                   | 49        |
| 3.2      | Sicherheitsszenario . . . . .                                           | 51        |
| 3.3      | Komfortszenario . . . . .                                               | 52        |
| 3.4      | Verbrauchsszenario . . . . .                                            | 54        |
| 3.5      | Innovatives integratives Szenario . . . . .                             | 59        |
| 3.6      | Zusammenfassung . . . . .                                               | 63        |

|          |                                                                          |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b> | <b>Der modifizierte eHome-Prozess – Übergang von 2G- zu 3G-Systemen</b>  | <b>65</b>  |
| 4.1      | Analyse des 2G-Prozesses                                                 | 65         |
| 4.2      | Der eHome-Prozess in der Gesamtsicht                                     | 70         |
| 4.3      | Dienst-Abonnements als Vertriebsform                                     | 71         |
| 4.4      | Wiederverwendung mithilfe des Architekturmodells PowerArchitecture       | 73         |
| 4.5      | Konfigurierung und Deployment                                            | 75         |
| 4.6      | Entwicklung des optimierten eHome-Prozesses – der 3G-Prozess             | 78         |
| 4.7      | Der 3G-Prozess                                                           | 83         |
| 4.8      | Dienst-Lebenszyklus                                                      | 86         |
| 4.9      | Zusammenfassung                                                          | 87         |
| <b>5</b> | <b>Basis-Infrastrukturen für eHome-Systeme</b>                           | <b>89</b>  |
| 5.1      | Anforderungsdefinition                                                   | 89         |
| 5.2      | Nachrichten-basierte Kommunikation zwischen eHome-Diensten: PowerMessage | 94         |
| 5.3      | Strukturierte Persistenzschicht: PowerData                               | 97         |
| 5.4      | Interaktion mit eHome-Systemen: PowerInteract                            | 102        |
| 5.5      | Flexible Kopplung: Distributed Services Framework (DSF)                  | 107        |
| 5.6      | Kollaboration in eHomes: PowerKollabo                                    | 114        |
| 5.7      | Zusammenfassung                                                          | 117        |
| <b>6</b> | <b>Entwicklungs- und Laufzeit von eHome-Diensten: Das Regelparadigma</b> | <b>119</b> |
| 6.1      | Regelbasiertes Paradigma für die Entwicklung von eHome-Diensten          | 120        |
| 6.2      | Regelmuster                                                              | 126        |
| 6.3      | Konflikterkennung in eHomes                                              | 128        |
| 6.4      | Vertiefung des Regel-Paradigmas                                          | 136        |
| 6.5      | Zusammenfassung                                                          | 142        |
| <b>7</b> | <b>Geschäftsprozesse und deren Unterstützung in eHome-Systemen</b>       | <b>143</b> |
| 7.1      | Spontaner Ansatz                                                         | 144        |
| 7.2      | Analyse des spontanen Ansatzes                                           | 150        |
| 7.3      | Revidierter Ansatz                                                       | 151        |
| 7.4      | Werkzeugintegration                                                      | 155        |
| 7.5      | Prozessinstanzen: Ausführung und Überwachung                             | 160        |
| 7.6      | XPDL-Spezifikation des eHome-Prozesses                                   | 161        |
| 7.7      | Realisierung der Werkzeugintegration                                     | 166        |
| 7.8      | Zusammenfassung                                                          | 168        |
| <b>8</b> | <b>Umsetzung der Anwendungsszenarien</b>                                 | <b>171</b> |
| 8.1      | Bildabrufdienst PowerImage                                               | 171        |
| 8.2      | Sensoren                                                                 | 174        |
| 8.3      | Sicherheitsszenario                                                      | 178        |
| 8.4      | Komfortsszenario                                                         | 182        |
| 8.5      | Verbrauchsszenario                                                       | 185        |
| 8.6      | Innovatives integratives Szenario                                        | 189        |
| 8.7      | Zusammenfassung                                                          | 189        |

|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9 Architekturmodellierung und Implementierung der Basis-Infrastrukturen für eHome-Systeme</b> | <b>191</b> |
| 9.1 Detaillierung des Architekturmodells PowerArchitecture                                       | 191        |
| 9.2 PowerMessage                                                                                 | 199        |
| 9.3 PowerInteract                                                                                | 201        |
| 9.4 PowerData                                                                                    | 206        |
| 9.5 Distributed Services Framework (DSF)                                                         | 217        |
| 9.6 PowerKollabo                                                                                 | 226        |
| 9.7 OSGi-spezifische Entwurfsentscheidungen und Implementierungsüberlegungen                     | 234        |
| 9.8 Zusammenfassung                                                                              | 237        |
| <b>10 Verwandte Ansätze</b>                                                                      | <b>239</b> |
| 10.1 Plattformen für eHome-Systeme                                                               | 239        |
| 10.1.1 AutoHAN                                                                                   | 239        |
| 10.1.2 Internet Framework for Cooperative Buildings (FCB)                                        | 240        |
| 10.1.3 HOUSe-KEEPER                                                                              | 240        |
| 10.1.4 Bewertung                                                                                 | 241        |
| 10.2 Mensch-Maschine-Schnittstelle                                                               | 243        |
| 10.2.1 Oberflächenbeschreibungssprachen                                                          | 244        |
| 10.2.2 Rahmenwerke                                                                               | 245        |
| 10.2.3 XSL versus Schablonenkonzept                                                              | 247        |
| 10.2.4 Bewertung                                                                                 | 248        |
| 10.3 Verteilte Systeme im DSF-Kontext                                                            | 249        |
| 10.3.1 Ansätze aus dem Bereich der Heimautomatisierung                                           | 249        |
| 10.3.2 Allgemeine Konzepte zur entfernten Dienstnutzung                                          | 252        |
| 10.3.3 Web-Services                                                                              | 254        |
| 10.3.4 Bewertung                                                                                 | 256        |
| 10.4 Dienstnutzung im Verbund: Kollaboration                                                     | 257        |
| 10.4.1 Ansätze aus dem Bereich der Heimautomatisierung                                           | 258        |
| 10.4.2 Allgemeine Konzepte zur Kollaboration                                                     | 261        |
| 10.5 Dienst-Komposition                                                                          | 265        |
| 10.5.1 Web-Services zur Dienstkomposition                                                        | 265        |
| 10.5.2 Komponentenrahmenwerke                                                                    | 266        |
| 10.5.3 Weiterführende Ansätze                                                                    | 277        |
| 10.5.4 Bewertung                                                                                 | 281        |
| 10.6 Regelbasierte Systeme                                                                       | 282        |
| 10.6.1 Alternative Regelmaschinen                                                                | 282        |
| 10.6.2 Standardisierungsbemühungen                                                               | 283        |
| 10.6.3 Strukturen in Regelsätzen                                                                 | 284        |
| 10.7 Konflikterkennung                                                                           | 287        |
| 10.7.1 Policy-basiertes Management verteilter Systeme                                            | 288        |
| 10.7.2 Multi-Agenten-Systeme                                                                     | 288        |
| 10.7.3 Telekommunikationssysteme                                                                 | 289        |
| 10.7.4 Bewertung                                                                                 | 289        |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| 10.8 Geschäftsprozesse . . . . .                   | 290        |
| 10.8.1 Verwandte Prozesse . . . . .                | 290        |
| 10.8.2 Ansätze zur Workflow-Modellierung . . . . . | 292        |
| 10.8.3 Bewertung . . . . .                         | 298        |
| <b>11 Zusammenfassung und Ausblick</b>             | <b>301</b> |
| 11.1 Rekapitulation der Ergebnisse . . . . .       | 301        |
| 11.2 Ausblick . . . . .                            | 303        |
| 11.3 Schlussbemerkung . . . . .                    | 306        |