

## Inhalt

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einführung in die Arbeit.....  | 1  |
| 1.1   | Einleitung .....   | 1  |
| 1.2   | Energieverbrauch in privaten Haushalten in Deutschland .....                                 | 3  |
| 1.3   | Erzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland.....                                      | 4  |
| 1.4   | Literaturüberblick und Stand der Wissenschaft .....  | 7  |
| 1.4.1 | Analyse von Interventionsstudien zu Energieeinsparungen in Haushalten .....                  | 7  |
| 1.4.2 | Bewertung unterschiedlicher Arten von Feedback .....   | 10 |
| 1.4.3 | Verknüpfung von Feedback und sozialem Vergleich.....   | 11 |
| 1.4.4 | Studie zur Digitalisierung als Enabler für die Steigerung der Energieeffizienz.              | 11 |
| 1.5   | Marktübersicht zu Energiedienstleistungen .....  | 14 |
| 1.6   | Inhalt und Aufbau der Arbeit .....   | 16 |
| 2     | Gamification und Social Energy Community.....  | 19 |
| 2.1   | Gamification .....   | 19 |
| 2.1.1 | Definition und Konzept.....  | 19 |
| 2.1.2 | Beispiele aus Wissenschaft und Wirtschaft.....   | 24 |
| 2.2   | Social Energy Community: Definition und Abgrenzung des Begriffs .....                        | 35 |
| 2.2.1 | Definition und Abgrenzung Social Community .....   | 35 |
| 2.2.2 | Gruppe und Soziales Milieu: Die Rolle der Mitgliederanzahl einer Social Community .....      | 37 |
| 2.2.3 | Definition Social Energy Community .....   | 38 |
| 2.2.4 | Wettbewerb innerhalb der Social Energy Community .....                                       | 38 |
| 3     | Konzept für die Entwicklung und Evaluierung einer Social Energy Community .....              | 39 |
| 3.1   | Das Anreizkonzept von <i>sema</i> .....  | 39 |
| 3.2   | Einbindung der Teilnehmer_innen in das Gebäude-Energiemanagementsystem von <i>sema</i> ..... | 39 |
| 3.3   | Konzept für die Durchführung des Feldtests.....  | 40 |
| 3.3.1 | Forschungsfragen.....  | 40 |
| 3.3.2 | Zeitplan des Feldtests.....  | 41 |
| 3.3.3 | Auswahl der Teilnehmer_innen .....   | 42 |
| 3.3.4 | Gruppenbildung und Soziales Milieu der Teilnehmer_innen .....                                | 45 |
| 3.3.5 | Begleitende Befragungen der Teilnehmer_innen .....   | 46 |
| 3.3.6 | Datenschutz, Datensicherheit und Datensparsamkeit.....                                       | 46 |
| 3.4   | <i>sema</i> -Plattform.....  | 47 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.4.1 | semaBox .....   | 47 |
| 3.4.2 | semaMobil .....   | 50 |
| 3.4.3 | semaSite .....  | 51 |
| 3.4.4 | semaServer .....  | 52 |
| 3.4.5 | WhatsApp-Gruppe <i>sema</i> .....   | 53 |
| 3.5   | Integration des Anreizsystems in die sema-Plattform .....   | 53 |
| 3.5.1 | Ziele des Anreizsystems .....   | 53 |
| 3.5.2 | Visualisierung und Skalierung des semaLevels .....  | 54 |
| 3.5.3 | Berechnung und Visualisierung der Level und Punkte .....  | 56 |
| 3.5.4 | Wettbewerb innerhalb der Community .....  | 58 |
| 3.5.5 | Visualisierung des Verbrauchsverhaltens .....   | 62 |
| 3.5.6 | Interaktion und Kommunikation innerhalb der Community .....   | 64 |
| 3.6   | Funktionen der Heizungssteuerung von sema .....   | 68 |
| 3.6.1 | Manuelle Steuerung der Raum-Solltemperatur am Heizkörperthermostat .....  | 70 |
| 3.6.2 | Manuelle Steuerung der Raum-Solltemperatur über semaBox und semaMobil ...   | 70 |
| 3.6.3 | Automatische Heizungssteuerung .....  | 72 |
| 3.6.4 | Eco-Modus .....   | 73 |
| 4     | Evaluierung der Ergebnisse des Feldtests .....  | 75 |
| 4.1   | Auswertung zur Anpassung des Strombezugs an die Erzeugung aus Erneuerbaren Energien .....                             | 75 |
| 4.1.1 | Modellansatz und Methodik .....   | 75 |
| 4.1.2 | Kombinierte Darstellung von Durchschnittsverbrauch, semaLevel Strom und Anwesenheit .....                             | 76 |
| 4.1.3 | Vergleich des Energiebezugs bei hohem und niedrigem semaLevel .....   | 77 |
| 4.1.4 | Bewertung des Anreizsystems hinsichtlich der erreichten Anpassung des Strombezugs .....                               | 79 |
| 4.1.5 | Diskussion der Ergebnisse zur Anpassung des Strombezugs an die Erzeugung aus Erneuerbaren Energien .....              | 79 |
| 4.2   | Auswertung und Ergebnisse zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs .....   | 82 |
| 4.2.1 | Modell und Methodik .....   | 82 |
| 4.2.2 | Berechnung der Komforttemperatur sowie der mittleren Temperaturabsenkung im Realfall gegenüber dem Referenzfall ..... | 83 |
| 4.2.3 | Korrelation mit dem Anreiz des sema-Wettbewerbs .....   | 85 |
| 4.2.4 | Bewertung der relativen Einsparungen .....  | 86 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.2.5 | Diskussion der Ergebnisse zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs .....   | 87  |
| 4.3   | Ergebnisse der Online-Befragungen zur Nutzerakzeptanz und zur Motivation .....  | 88  |
| 4.3.1 | Methodik der Auswertung .....   | 88  |
| 4.3.2 | Online-Befragung zur Nutzerakzeptanz.....   | 92  |
| 4.3.3 | Online- Befragung zur Motivation .....  | 115 |
| 4.3.4 | Diskussion der Ergebnisse der Online- Befragungen.....  | 130 |
| 4.4   | Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse des Feldtests .....   | 133 |
| 4.4.1 | Zusammenfassung der Ergebnisse des Feldtests.....   | 133 |
| 4.4.2 | Diskussion der Ergebnisse des Feldtests.....  | 135 |
| 5     | Anforderungen an eine intelligente Heizungssteuerung für Privathaushalte .....  | 137 |
| 5.1   | Anforderungen zur Steigerung des Komforts sowie zur Verbesserung der Usability aus Sicht der Teilnehmer_innen .....                       | 137 |
| 5.1.1 | Benutzerinterface zur Heizungssteuerung.....  | 137 |
| 5.1.2 | Automatische Heizungssteuerung mittels Anwesenheitserkennung .....  | 138 |
| 5.1.3 | Selbstlernende Heizungssteuerung.....   | 139 |
| 5.1.4 | Anforderungen an eine intelligente Heizungssteuerung .....  | 139 |
| 5.2   | Einbindung der Anwesenheitserkennung in die Heizungssteuerung.....  | 140 |
| 5.2.1 | Mehrwert durch Anwesenheitsinformationen.....   | 140 |
| 5.2.2 | Technologien zur Anwesenheitserkennung .....  | 141 |
| 5.2.3 | Identifikation geeigneter Verfahren zu Anwesenheitserkennung .....  | 144 |
| 5.3   | Beschreibung von Anforderungen an eine intelligente Heizungssteuerung .....   | 146 |
| 6     | Empfehlungen für die Entwicklung einer sektorenübergreifenden Community-basierten Beratungsplattform für das Energiesystem Wohnhaus ..... | 155 |
| 6.1   | Einführung in das Themengebiet und das Marktumfeld .....  | 156 |
| 6.1.1 | Definition Sektorenkopplung.....  | 156 |
| 6.1.2 | Auswahl bestehender Angebote .....  | 157 |
| 6.2   | Ableiten von Empfehlungen für die Entwicklung der Investitionsberatung.....   | 158 |
| 6.2.1 | Zielsetzung für die Entwicklung der Investitionsberatung.....   | 158 |
| 6.2.2 | Community.....  | 158 |
| 6.3   | Wirtschaftlichkeit versus Nachhaltigkeit.....   | 160 |
| 6.4   | Beispielablauf einer Investitionsberatung .....   | 162 |
| 7     | Zusammenfassung sowie weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....   | 169 |
| 7.1   | Zusammenfassung und wesentliche Erkenntnisse.....   | 169 |
| 7.2   | Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....   | 171 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 7.2.1  | Erweiterung und Ausbau des sema-Feldtests .....  | 171 |
| 7.2.2  | Entwicklung einer intelligenten Heizungssteuerung .....  | 173 |
| 7.2.3  | Entwicklung einer sektorenübergreifenden Community-basierten Beratungsplattform für das Energiesystem Wohnhaus ..... | 174 |
| 8      | Abbildungsverzeichnis .....  | 175 |
| 9      | Tabellenverzeichnis .....  | 181 |
| 10     | Abkürzungsverzeichnis .....  | 183 |
| 11     | Literaturverzeichnis .....   | 185 |
| 12     | Anhang.....  | 201 |
| 12.1   | semaBox (Home Energy Management).....  | 201 |
| 12.1.1 | Raspberry Pi 3 mit Homematic Funkmodul .....   | 201 |
| 12.1.2 | Gehäuse semaBox .....  | 201 |
| 12.1.3 | Nutzeroberfläche und Funktionen semaBox.....   | 202 |
| 12.2   | semaMobil (Android-App) .....  | 207 |
| 12.3   | semaSite (Community-Plattform).....  | 210 |
| 12.4   | WhatsApp-Gruppe sema .....   | 213 |
| 12.5   | Homematic.....   | 214 |
| 12.5.1 | Funk-Innensensor ITH .....   | 214 |
| 12.5.2 | Funk-Heizkörperthermostat .....  | 214 |
| 12.5.3 | Funk-Tür-/Fensterkontakt .....   | 214 |
| 12.5.4 | Funk-Bewegungsmelder.....  | 215 |
| 12.6   | RExometer.....   | 216 |
| 12.6.1 | RExometer .....  | 216 |
| 12.6.2 | Stromwandler.....  | 216 |
| 12.6.3 | RExoLink .....   | 216 |
| 12.7   | Quellcode.....   | 217 |
| 12.7.1 | Berechnung semaLevel .....   | 217 |
| 12.7.2 | Berechnung Electricity Points .....  | 220 |
| 12.7.3 | Berechnung Heating Points .....  | 224 |
| 12.8   | Newsletter Wochensieger .....  | 227 |
| 12.9   | Auswahlprozess Teilnehmende .....  | 228 |
| 12.9.1 | Einladung Feldtest .....   | 228 |
| 12.9.2 | Erinnerung Einladung Feldtest .....  | 229 |
| 12.10  | Druckversion des Fragebogens Vorbereitung .....  | 230 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 12.11   | Teilnehmervertrag .....   | 237 |
| 12.11.1 | Teilnehmervertrag .....   | 237 |
| 12.11.2 | Beschreibung der Software sema .....                            | 244 |
| 12.12   | Online- Befragungen Feedback und Motivation .....               | 245 |
| 12.12.1 | Druckversion Fragebogen Feedback .....                          | 245 |
| 12.12.2 | Druckversion Fragebogen Motivation .....                        | 255 |
| 12.13   | Ergebnisse Diskussion „Wie machen wir unsere Häuser fit?“ ..... | 261 |