

Uwe Rüppel, Robert Irmeler, Christian Schwöbel

**Steigerung der Motivation für
energieeffizientes Verhalten auf
Grundlage von Smart Metering
Daten und Serious Gaming
Methoden**

**SmartER Game
(Smart Energy Ranking Game)**

F 3016

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-8167-9940-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Steigerung der Motivation für energieeffizientes Verhalten auf Grundlage von Smart Metering Daten und Serious Gaming Methoden

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt SWD-10.08.18.7-14.21

Die Förderung des Forschungsprojekts erfolgte im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Bearbeiter: **Technische Universität Darmstadt**
Institut für Numerische Methoden
und Informatik im Bauwesen
Dipl.-Ing. Robert Irmeler
Dr.-Ing. Christian Schwöbel

Praxispartner: **WiriTec GmbH**



Darmstadt, 26.10.2016



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Institut für Numerische Methoden und
Informatik im Bauwesen

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
1 Einleitung	4
1.1 Hintergrund	4
1.1.1 Energieverbrauch in Privathaushalten und Smart Metering	4
1.1.2 Serious Games und Gamification	5
1.2 Forschungsprojekt Smart Energy Ranking Game	7
1.2.1 Forschungsansatz und Zielsetzung	7
1.2.2 Praxispartner WiriTec GmbH	8
1.2.3 Gliederung des Forschungsprojekts	9
2 Datenerfassung und Datenmanagement	10
2.1 Stromzähler	10
2.1.1 Konventionelle Messsysteme	10
2.1.2 Moderne / Intelligente Messsysteme	11
2.2 Gaszähler	11
2.3 Smart Grid und Smart Meter Gateway	12
2.3.1 Die Architektur eines Smart Grids	12
2.3.2 Das Smart Meter Gateway (SMWG)	13
2.4 Verwendete Zähl- und Messtechnik im Bereich Haushaltskunden	13
2.5 Möglichkeiten der automatisierten Datenerfassung an ortsfesten Zählpunkten	14
2.5.1 Schnittstellen	14
2.5.2 Open Source Lösung von volkszaehler.org	16
2.6 Datenerfassung und -management im Rahmen des SmartER Game	16
2.6.1 Die SmartER Box	18
3 Analyse der Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für den Einsatz digitaler Spiele als Interventionstechnik	21
3.1 Energetische Optimierungspotentiale in Privathaushalten	21
3.1.1 Technische Maßnahmen	22
3.1.2 Nutzerverhalten	23
3.2 Möglichkeiten der Optimierung des Nutzerverhaltens	24
3.2.1 Einflüsse auf das Verbrauchsverhalten	24
3.2.2 Interventionsmöglichkeiten	26

3.3	Digitale Spiele als Interventionstechnik	27
3.3.1	Elemente und Mechaniken digitaler Spiele	28
3.3.2	Einflüsse auf das Spielerlebnis	30
3.3.3	Spielkategorien und ihre Eignung als Interventionstechnik	31
4	Entwicklung eines Spielkonzepts für die „Gamifizierung“ des Energieverbrauchs privater Haushalte	33
4.1	Auswahl der Spielkategorie	33
4.2	Das Smart Energy Ranking Game	34
4.2.1	Gewählte Spielelemente und -mechaniken	34
4.2.2	Prozessmodell des Spielablaufs	36
4.2.3	Benchmark-Parameter	37
4.2.4	Scoring-System	39
4.2.5	Ranking	41
4.2.6	Energie-Kamel	41
4.2.7	Energie-Rennen	44
4.2.8	Energie-Quiz	45
4.2.9	Energie-Challenges	45
4.2.10	Auszeichnungen	45
4.2.11	Monitoring- und Beratungskomponenten	46
5	Das SmartER Game Webportal	47
5.1	Systemarchitektur	47
5.1.1	Datenmodell für Haushalt und Nutzerdaten	47
5.1.2	Datenmodell für Spiel-Elemente	48
5.2	Implementierung	50
5.2.1	HouseholdInfo- und AvatarInfo-Objekte	50
5.2.2	Berechnung der Lastparameter	52
5.2.3	Berechnung des Scores	54
5.2.4	Berechnung der Avatar-Eigenschaften	57
5.2.5	Berechnung der Rennzeit	62
5.2.6	Berechnung der Spielparameter	65
5.3	Open Source Quellcode über Git-Repository abrufbar	72
5.4	Die Nutzeroberfläche	73
5.4.1	Startseite	74
5.4.2	Stammdaten bearbeiten	75
5.4.3	Messdaten-Import	76
5.4.4	Monitoring Stromverbrauch	77
5.4.5	Statistiken Stromverbrauch	78
5.4.6	Einsparpotential Geräte	80
5.4.7	Energie-Berater	81
5.4.8	Haushalts-Ranking	83
5.4.9	Energie-Kamel	85
5.4.10	Energie-Rennen	86
5.4.11	Energie-Challenges	87

5.4.12 Trophäen	88
5.4.13 Energie-Quiz	89
5.5 Zugang zum SmartER Game Webportal	90
6 Evaluation	91
6.1 Aufbau der Teststudie	91
6.1.1 Haushaltsprofile	91
6.1.2 Simulierte Verbrauchsdaten	92
6.2 Ergebnisse	94
7 Zusammenfassung	97
Literaturverzeichnis	99
A Anhang	101

Abbildungsverzeichnis

1.1	Ergebnisse einer YouGov-Umfrage unter 2.000 Bundesbürgern im Auftrag des Energie- und IT-Unternehmens LichtBlick, Befragungszeitraum: Oktober 2015 (LichtBlick, 2015)	7
2.1	Ferrariszähler (Schwöbel, 2015)	11
2.2	Architektur des Smart Grids (Schwöbel, 2015), nach BSI-CC-PP-0073 (BSI, 2014)	13
2.3	Lesekopf zur Digitalisierung von Ferrariszählern nach volkszaehler.org	16
2.4	Deployment Diagram der wesentlichen Systemkomponenten nach UML Notation (ISO/IEC 19505-1 und 19505-2)	17
2.5	Prozessmodell der Datenerfassung und -übertragung nach Business Process Model and Notation Specification (BPMN 2.0.1 - ISO/IEC 19510:2013)	18
2.6	SmartER Box vom Typ ODROID-C1	19
2.7	Testaufbau mit zwei Ferraris-Leseköpfen	20
2.8	Stündlich summierte Impulse im Rahmen einer einwöchigen Testphase	20
3.1	Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen in privaten Haushalten 2014 (BMW, 2016)	21
3.2	OSA-Modell (Schwöbel, 2015), nach (Dehmel, 2010)	25
3.3	Elementare Tetrade nach Jesse Schell (Schell, 2008)	29
3.4	Kategorisierung der Interventionstechniken in digitalen Spielen (Schwöbel, 2015)	32
4.1	Use-Case Diagramm zu den Haupt-Andwendungsfällen des SmartER Game	35
4.2	Prozessmodell des Spielablaufs im SmartER Game nach Business Process Model and Notation Specification (BPMN 2.0.1 - ISO/IEC 19510:2013)	37
4.3	Schematische Darstellung der Herleitung der Benchmark-Parameter; Grüne Linie: Spitzenlast; Violette Linie: Mittlere Last; Rote Linie: Grundlast; Das Verhältnis aus violetter zu grüner Linie ist das Spitzenlast-Verhältnis	39
4.4	Schematische Darstellung Scoring-Systems im SmartER Game	40
4.5	Deutscher Stromspiegel 2016 (BMUB, 2016)	41
4.6	$F_S(x)$: Funktion der Stärke-Entwicklung	42
4.7	$F_G(x)$: Funktion der Gewichts-Entwicklung	43
4.8	$F_L(x)$: Funktion der Luftwiderstands-Entwicklung	44
5.1	Entity Relationship Model für Haushalts-, Benchmark- und Nutzerdaten, sowie Lastparameter, nach Chen-Notation	48
5.2	Entity Relationship Model für verschiedene Spiel-Komponenten nach Chen-Notation	49
5.3	Screenshot der Login-Seite	73
5.4	Screenshot der Startseite	74
5.5	Screenshot der Seite „Stammdaten bearbeiten“	75
5.6	Screenshot der Seite „Messdaten-Import“	76
5.7	Screenshot der Seite „Monitoring Stromverbrauch“	77

5.8	Screenshot der Seite „Statistiken Stromverbrauch“, Verbrauchsprognose und Bewertung nach Deutschem Stromspiegel	78
5.9	Screenshot der Seite „Statistiken Stromverbrauch“, Übersicht zu bereits erzielten Einsparungen seit Spielbeginn	79
5.10	Screenshot der Seite „Statistiken Stromverbrauch“, Auswertungen zu Haushaltsgeräten	79
5.11	Screenshot der Seite „Einsparpotential Geräte“	80
5.12	Screenshot der Seite „Energie-Berater“: Energiespartipps	81
5.13	Screenshot der Seite „Energie-Berater“: Optimierungsmaßnahmen	82
5.14	Screenshot der Seite „Haushalts-Ranking“	83
5.15	Screenshot der Seite „Haushalts-Ranking“: Anzeige eines Nutzerprofils	84
5.16	Screenshot der Seite „Energie-Kamel“	85
5.17	Screenshot der Seite „Energie-Rennen“	86
5.18	Screenshot der Seite „Energie-Challenge“	87
5.19	Screenshot der Seite „Trophäen“	88
5.20	Screenshot der Seite „Energie-Quiz“	89
5.21	Die Webseite www.smartergame.de	90
6.1	Monatliche simulierte Verbrauchsdaten für ein Jahr, für einen 3-Personen Haushalt basierend auf dem H0-Standardlastprofil, Skalierung: 3000 kWh/a	93
6.2	Stündliche simulierte Verbrauchsdaten für den Zeitraum einer Woche, für einen 3-Personen Haushalt basierend auf dem H0-Standardlastprofil, Skalierung: 3000 kWh/a	93
6.3	Entwicklung der Ranking-Platzierungen im Verlauf der simulierten Spielphase	94
6.4	Score-Zusammensetzung für Haushaltsprofil sg21 nach Abschluss der simulierten Spielphase	95
6.5	Score-Zusammensetzung für Haushaltsprofil sg22 nach Abschluss der simulierten Spielphase	96
6.6	Score-Zusammensetzung für Haushaltsprofil sg23 nach Abschluss der simulierten Spielphase	96
A.1	Prozessmodell zur Entwicklung eines zweckgebundenen digitalen Spiels nach Business Process Model and Notation Spezifikation (Schwöbel, 2015)	104

Tabellenverzeichnis

1.1	Gamified Energy Efficiency Solutions (Grossberg et al., 2015)	6
2.1	Zähl- und Messtechniken im Bereich Haushaltskunden (Bundesnetzagentur, 2016)	14
2.2	Kostenaufstellung SmartER Box	19
3.1	Eignung von Interventionstechniken zur Einflussnahme auf das Energieverbrauchsverhalten (Schwöbel, 2015)	28
4.1	Qualitative Einschätzung verschiedener Kategorien bezüglich ihrer Eignung für ein systemintegriertes Smart-Metering Spiel (Schwöbel, 2015)	34
6.1	Haushaltsprofile der Teststudie	92
6.2	Skalierung der simulierten Jahresverbräuche	93
A.1	Einsparpotenziale für elektrische Energie durch verhaltensgesteuerte Maßnahmen (Schwöbel, 2015), nach (Bürger, 2009)	101

1 Einleitung

Das SmartER Game (Smart Energy Ranking Game) ist ein von Oktober 2014 bis Oktober 2016 gefördertes Forschungsprojekt innerhalb der Forschungsinitiative ZukunftBAU. Ziel des Projekts ist die Erhöhung der Akzeptanz von Smart Meter Technologien und eine verstärkte Sensibilisierung für energieeffizientes Verhalten auf Grundlage von Smart Metering Daten und Serious Gaming Methoden. Hierfür wurde ein Web-Portal entwickelt welches neben einer reinen Visualisierung des Energieverbrauchs auch spielerische Elemente, im Sinne eines Serious Games, in den Monitoring- und Feedbackprozess einbezieht. In Folge entsteht für die Nutzer eine Synthese aus spielerischen Anreizen (z.B. Spaß, Wettbewerb) und „echter“ Energieeinsparung als direkter Mehrwert. Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte in Kooperation mit der in Bensheim ansässigen WiriTec GmbH. Der vorliegende Bericht erläutert zunächst die Hintergründe sowie das Forschungsziel des Projekts. Im Anschluss wird der gewählte Forschungsansatz genauer dargestellt sowie dessen Umsetzung erläutert. Schließlich werden die bis zum Zeitpunkt des Abschlussberichts vorliegenden Evaluations-Ergebnisse präsentiert und bewertet.

1.1 Hintergrund

1.1.1 Energieverbrauch in Privathaushalten und Smart Metering

Sowohl die Endlichkeit fossiler Energieträger, als auch der weltweit stetig wachsende Bedarf an Energie sind unbestritten. So betrug der weltweite Energieverbrauch im Jahr 2012 beispielsweise rund 8.979 Mtoe, also ca. 104 Billionen Kilowattstunden. Im Vergleich zum Jahr 1973 bedeutet dies eine Steigerung von mehr als 90 % (vgl. IEA (2014)). Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht von Umweltverschmutzungen und Klimawandel, stellt die Wende hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung eine der zentralen Herausforderungen unserer Zeit dar. In diesem Zusammenhang hat sich die Bundesrepublik Deutschland das Ziel gesetzt, eine der umweltschonendsten und energiesparsamsten Volkswirtschaften der Welt zu werden (BPA, 2015). Die drei wesentlichen Säulen der Energiewende sind dabei der Ausbau der erneuerbaren Energien, eine Erhöhung der Energieeffizienz und die Reduktion des Endenergieverbrauchs. So soll beispielsweise bis zum Jahr 2050 der Primärenergiebedarf Deutschlands um 50 % im Vergleich zum Jahr 2008 gesenkt werden.

Eine Aufschlüsselung des deutschen Endenergieverbrauchs nach Sektoren liefert die Erkenntnis, dass rund 26 % des Verbrauchs im Bereich privater Haushalte anfallen (vgl. AGEBA (2014)). Die Bundesregierung hat in diesem Kontext das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Dies erfordert neben einer umfassenden Sanierung von Bestandsgebäuden und einer gezielten Einbindung erneuerbarer Energien auch eine Veränderung des Verbrauchsverhaltens. Eine wichtige Komponente stellt hierbei die Schaffung von Transparenz bezüglich des Energieverbrauchs von Gebäuden und Haushaltsgeräten dar. Transparenz bedeutet in diesem Fall vor allem die zeitnahe, detaillierte Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs, zum Beispiel mit Hilfe sogenannter „Smart Meter“.

Der Begriff „Smart Meter“ ist nicht eindeutig definiert, bezeichnet aber gemeinhin einen digitalen Zähler mit mehrdirektionalem Kommunikationsmodul. Ein solcher Zähler ist in der Lage leitungsgebundene Stoffe in zeitlichen Intervallen von bis zu wenigen Sekunden zu zählen und an den Netzbetreiber bzw. Messstellenbetreiber zu übermitteln. Durch die bidirektionale Kommunikation können jedoch nicht nur Verbrauchswerte übermittelt werden, sondern beispielsweise auch Steuersignale empfangen werden. Durch die EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) und das 3. Binnenmarktpaket (2009/72/EG) ist eine Umstellung von 80 Prozent der Letztverbraucher auf intelligente Messsysteme (Smart Metering) bis zum Jahr 2020 in allen EU-Mitgliedsstaaten rechtlich geboten. Mit dem im September 2016 in Kraft getretenen "Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende" folgt die Bundesregierung diesen Vorgaben. Je nach Verbrauchergruppe und wirtschaftlicher Vertretbarkeit sind Letztverbraucher demnach ab dem Jahr 2017 bzw. 2020 durch den jeweiligen Messstellenbetreiber mit intelligenten Messsystemen auszustatten.

Vorteile, die sich durch die Einführung dieser Technologie ergeben sollen, sind unter anderem eine bessere Laststeuerung im Versorgungsnetzwerk, sowie wirtschaftliche Vorteile durch automatisierte Ablesevorgänge und flexible Tarifmodelle. Aber auch für den Verbraucher selbst entstehen Vorteile, nicht zuletzt durch die Erschließung von Optimierungs- und Einsparpotentialen. Dass der Einsatz von Smart Metern in Verbindung mit einer regelmäßigen Verbrauchsvisualisierung und -auswertung zu messbaren Einsparungen führen kann, zeigten in der Vergangenheit bereits mehrere Studien, wie beispielsweise das EU-Projekt „Balanced European Conservation Approach (BECA)“ oder die durch das BMBF geförderte „Intelliekon“-Studie. In beiden Fällen wurden Haushalte mit Smart Metern ausgestattet und die Bewohner über Internetportale oder schriftliche Mitteilungen regelmäßig über ihren Energieverbrauch informiert. Je nach betrachteter Energieform konnten dabei Einsparungen von 2 – 15 % erreicht werden (vgl. Vogt et al. (2014), ISE (2011)).

Wie Darby et al. (2006) ausführt, ist die Gestaltung der Feedback-Systeme in diesem Bereich von besonderer Bedeutung, da der häusliche Energieverbrauch üblicherweise weitgehend unsichtbar für den Letztverbraucher bleibt. Jährliche oder auch monatliche Abrechnungen allein bieten dem Verbraucher keine genügenden Ansatzpunkte für eventuelle Einsparmaßnahmen. Die große Herausforderung bei der Implementierung von Feedback-Systemen ist es zu gewährleisten, dass die gegebenenfalls erzielten Einsparungen nicht nur von kurzer Dauer sind, sondern in einer dauerhaften Veränderung von Gewohnheiten und Verhaltensmustern münden. Untersuchungen zu Feedback-Systemen und Smart Metering Studien zeigen, dass die Effektivität der Feedback-Systeme dabei stark von der Art der zur Verfügung gestellten Informationen abhängt (Ehrhardt-Martinez et al. (2010), Fischer (2008)). Demnach zeichnen sich effektivere Systeme in der Regel dadurch aus, dass Feedback in höherer Frequenz (öfter als monatlich) und über längere Zeiträume gegeben wird. Weiterhin werden die Verbrauchsinformationen in diesen Fällen oftmals bis auf die Ebene der Haushaltsgeräte heruntergebrochen und es werden historische oder soziale Vergleichsmöglichkeiten angeboten (Darby et al. (2006), Fischer (2008)).

1.1.2 Serious Games und Gamification

Digitale Spiele sind aus unserer Gesellschaft mittlerweile nicht mehr wegzudenken. Sie bilden die Grundlage einer milliardenschweren Unterhaltungsindustrie und werden mittlerweile sogar als eigene Kunstform anerkannt, beispielsweise im Rahmen der Ausstellung „Film und Games“

(2015) des Deutschen Filmmuseums. Neben ästhetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten, und abseits des reinen Unterhaltungscharakters, können Spiele jedoch auch eine wichtige Rolle bei der Wissensvermittlung einnehmen.

Tabelle 1.1.: Gamified Energy Efficiency Solutions (Grossberg et al., 2015)

Programm	Anzahl der Teilnehmer	Individuelle Spieler	Teams	Gemeinde-basiert	Einbeziehung von Geräten	Live-Events	Vergleich zu Nachbarn	Reale Preise	Nutzung von Social Media	Energie-Einsparungen	Energie-Typ / Einheit
Chicago Neighborhood	ca. 500 Wohnungen	x	x	x		x	x	x		5 % 10 % 45 %	kWh Gas Wasser
Energy Smackdown	3 Städte, ca. 100 Haushalte je Stadt	x	x	x	x	x		x		14 % 17 %	kWh Heizöl
Kansas Take Charge	6 Städte	x	x	x		x		x		5,5 %	kWh
San Diego Energy	42.000 Teilnehmer	x	x	x	x			x	x	2-6 %	kWh
SMECO Savings	201 Kunden	x	x	x	x			x	x	> 3 %	kWh
Reduce the Use	161 Haushalte	x	x	x	x		x	x		4 %	kWh

Sogenannte Serious Games stellen eine Gruppe von Spielen dar, die man auch als Lernspiele bezeichnen könnte. Der Begriff „Serious Game“ wurde bereits 1970 durch Clark C. Abt eingeführt und beschreibt ein Spiel, dessen primärer Zweck nicht die reine Unterhaltung des Spielenden, sondern die explizite und durchdachte Vermittlung von Wissen ist (Abt, 1987). Dennoch sind Serious Games als vollwertige Spiele zu verstehen und unterscheiden sich diesbezüglich von Gamification oder E-Learning (vgl. Sawyer and Smith (2008)). Serious Games werden hauptsächlich in den Bereichen Bildung und Training eingesetzt, beispielsweise in Form von Flugsimulatoren, aber auch verstärkt zu Präventions- und Rehabilitationszwecken im Gesundheitswesen. Neben den klassischen Serious Games hat sich in den vergangenen Jahren der

Begriff der „Gamification“ etabliert. Gamification bezeichnet den Einsatz spielerischer Elemente in einem ursprünglich spielfremden Kontext (vgl. Deterding et al. (2011)). Gamification-Ansätze werden überwiegend für kommerzielle Zwecke, insbesondere zur Kundenbindung, eingesetzt. Im Gegensatz zu Serious Games ist das Ziel von Gamification nicht, ein vollständiges Spiel zu erschaffen, sondern lediglich spielerische Elemente wie Ranglisten oder Belohnungssysteme in einen vorhandenen Kontext einzubinden. Gleichsam den Serious Games bietet Gamification das Potenzial für ernste (*serious*) Zwecke und zur Erreichung von Lernzielen oder der positiven Beeinflussung von Verhalten eingesetzt zu werden.

Die Anwendung von Gamification auf das Thema Energieeffizienz wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach in verschiedenen Studien erprobt. Grossberg et al. (2015) untersuchten 22 Spiel-basierte Programme im U.S. amerikanischen Raum. Ziel der untersuchten Studien war die positive Beeinflussung des Nutzerverhaltens und eine Reduzierung des Energieverbrauchs in Privathaushalten. Tabelle 1.1 stellt einen Auszug der ausgewerteten Daten dar. Die Untersuchung zeigt, dass die erzielbaren Einsparungen üblicherweise in einer Größenordnung von 3-6 % auftraten, teilweise aber auch über 10 % lagen.

1.2 Forschungsprojekt Smart Energy Ranking Game

1.2.1 Forschungsansatz und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund der EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) und des 3. Binnenmarktpakets (2009/72/EG) sollen bis zum Jahr 2020 80 % aller Letztverbraucher mit intelligenten Zählern ausgestattet werden. Bisher steht die Mehrzahl der Letztverbraucher in Deutschland diesem Thema jedoch skeptisch gegenüber und es werden Datenschutzbedenken geäußert. Weiterhin ist für viele ein Mehrwert dieser Technologie noch nicht erkennbar (siehe Abbildung 1.1).

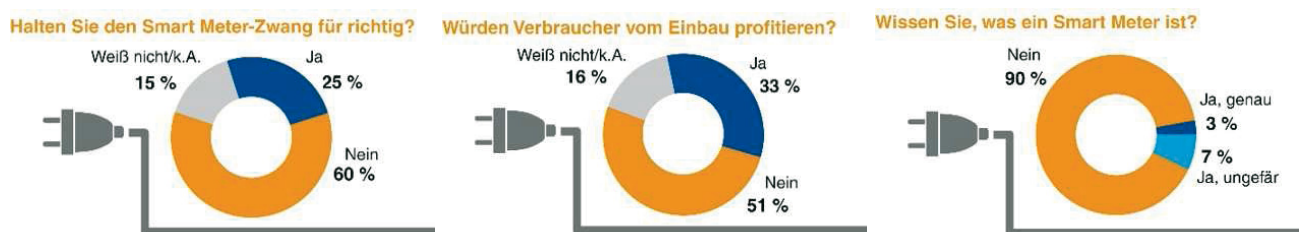


Abbildung 1.1.: Ergebnisse einer YouGov-Umfrage unter 2.000 Bundesbürgern im Auftrag des Energie- und IT-Unternehmens LichtBlick, Befragungszeitraum: Oktober 2015 (LichtBlick, 2015)

Das Hauptziel des Forschungsprojekts „SmarterER Game“ (Smart Energy Ranking Game) ist daher, eine Erhöhung der Akzeptanz von Smart Meter Technologien und eine verstärkte Sensibilisierung für energieeffizientes Verhalten zu erreichen, um damit insgesamt einen Beitrag zu mehr Energieeffizienz in Privathaushalten zu leisten. Der dabei verfolgte Ansatz ist es, neben einer reinen Visualisierung des Strom- bzw. Heizenergieverbrauchs, auch spielerische Elemente, im Sinne eines Serious Game, in den Monitoring- und Feedbackprozess einzubeziehen. In Folge soll eine Synthese aus spielerischen Anreizen (z.B. Spaß, Wettbewerb) und „echter“ Energieeinsparung als direkter Mehrwert entstehen. Hierdurch sollen die Nutzer ein besseres Verständnis

für die Zusammensetzung ihres häuslichen Energieverbrauchs erlangen und gleichzeitig Hilfestellung bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen erhalten. Durch den spielerischen Ansatz sollen die Teilnehmer nachhaltig motiviert werden, sich kritisch mit ihrem Energieverbrauch auseinanderzusetzen. Auf Seiten der Energieversorger und Messstellenbetreiber bietet das „SmartER Game“ die Möglichkeit, die gesammelten Daten für umfangreiche Analysen zu nutzen und im Dialog mit den Kunden beispielsweise neue flexible Tarifmodelle zu entwickeln.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zwei wesentliche Problemstellungen bearbeitet. Da der überwiegende Teil der Letztverbraucher noch nicht mit intelligenten Messsystemen ausgestattet ist, wurde zunächst ein Konzept zur Erfassung und sicheren Übertragung der Verbrauchsmessdaten erarbeitet. Das Konzept musste hierbei auch die Einbindung analoger Zähler, speziell Ferrariszähler, ermöglichen und gleichzeitig einen möglichst geringen finanziellen und technischen Aufwand seitens der Zielgruppe (Letztverbraucher) erfordern. Zur Erreichung des Ziels einer Steigerung der Motivation für energieeffizientes Verhalten wurde ein Gamification-Konzept entwickelt, welches den Nutzern einerseits als Interpretations- und Reflektionshilfe dient und sie andererseits nachhaltig für die Themen Energieeffizienz und Energiesparsamkeit sensibilisiert und motiviert. Die Umsetzung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Praxispartner WiriTec GmbH (siehe 1.2.2), welcher neben technischem Know-How auch die Grundlage für das entwickelte Webportal zur Verfügung stellte.

Finanziell wird das Forschungsprojekt mit Mitteln der Forschungsinitiative ZukunftBAU des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert. Der Projektstart erfolgte im Oktober 2014, der Förderzeitraum betrug 24 Monate. An den Förderzeitraum schließt sich eine dreijährige Betreuungsphase an, welche dazu dienen soll das entwickelte Webportal in Zusammenarbeit mit lokalen und regionalen Energieversorgern einer breiteren Teilnehmergruppe zur Verfügung zu stellen und weiterhin langfristige Evaluationen ermöglicht.

1.2.2 Praxispartner WiriTec GmbH

Die WiriTec GmbH ist ein innovatives Softwareunternehmen das sich auf die Entwicklung von effizienten Lösungen für Energiemanagement und Energiedaten-Management spezialisiert hat.

Das Unternehmen entwickelt eigene Hardware und innovative Software-Lösungen und verbindet bewährte und fortschrittliche Messtechnologien mit der IT-Welt. Mit den intelligenten Methoden der WiriTec GmbH zur Zählerauslesung und Datenübertragung in eine Messwert-Datenbank, wird effizientes Smart-Metering auch in inhomogenen Zähler- und Messdatenstrukturen ermöglicht.



WiriTec GmbH
Berliner Ring 103
D - 64625 Bensheim
<http://www.wiritec.com>

1.2.3 Gliederung des Forschungsprojekts

Das Projekts wurde zu Beginn in die nachfolgend aufgeführten Arbeitspakete strukturiert.

1. Analyse des Problemraums im Hinblick auf eine sichere Datenerfassung, -haltung und -übermittlung, sowie Auswahl / Entwicklung geeigneter Technologien und Schnittstellen
2. Erstellung eines Gamification-Konzepts gemäß der Anforderungen an das SmartER Game-Webportal
3. Entwicklung von Datenmodellen für Benutzerprofile
4. Entwurf des Spielkonzepts und des Bewertungssystems
5. Entwicklung des Demonstrators
6. Evaluation
7. Dokumentation und Dissemination
8. Betreuung des Internetportals und jährliche Preisverleihungen

Vorliegender Abschlussbericht stellt die Ergebnisse des Forschungsprojekts in o.g. Reihenfolge der Bearbeitung dar:

- Kap. 2: Datenerfassung und Datenmanagement
- Kap. 3: Analyse der Möglichkeiten für den Einsatz digitaler Spiele zur Nutzerbeeinflussung
- Kap. 4: Konzept zur „Gamifizierung“ des Energieverbrauchs
- Kap. 5: Das SmartER Game Webportal

2 Datenerfassung und Datenmanagement

Im Rahmen des SmartER Game sollen Energieverbrauchsdaten an ortsfesten Zählpunkten erfasst werden. Da der überwiegende Teil der Letztverbraucher noch nicht mit intelligenten Messsystemen ausgestattet ist, wurde ein Konzept zur Erfassung und sicheren Übertragung der Verbrauchsmessdaten erarbeitet. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Einbindung analoger Zähler, speziell Ferrariszähler, gelegt.

Dieses Kapitel gibt zunächst einen Überblick über verschiedene marktübliche Messsysteme und Schnittstellen zur Erfassung von Strom- und Gasverbräuchen. Anschließend wird die im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Lösung zur Datenerfassung genauer erläutert.

2.1 Stromzähler

Elektronische Zähler können Stromverbräuche generell auf zwei Arten erfassen. Die erste Möglichkeit ist die Erfassung eines fortlaufenden Zählerstands. Hierbei wird der kumulierte Zählerstand in festen Zeitintervallen übertragen oder gespeichert. Weiterhin kann der Verbrauch elektrischer Energie oder die mittlere Leistung in einem Zeitintervall aufgezeichnet werden. Für die Bestimmung der mittleren Wirkleistung müssen die Spannung $u(t)$ und der Strom $i(t)$ gemessen werden. Im Fall sinusförmiger Wechselspannung ergibt sich die mittlere Wirkleistung für eine Periode der Länge T wie folgt.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) \quad (2.1)$$

Ist die Wirkleistung bekannt, kann die elektrische Energie nach folgender Formel berechnet werden.

$$E = P \cdot t \quad (2.2)$$

2.1.1 Konventionelle Messsysteme

Ein in Deutschland noch immer weit verbreiteter Zählertyp ist der Ferrariszähler. Der Ferrariszähler ist ein vollständig analog arbeitender elektromechanischer Zähler der die verrichtete Arbeit über die Drehung einer Aluminiumscheibe bestimmt. Die Drehung der Scheibe resultiert aus den von zwei Erregerspulen hervorgerufenen Wechselfeldern. Eine Erregerspule ist hierbei in Reihe der anliegenden Stromquelle geschaltet und überträgt den Stromanteil, eine weitere ist parallel geschaltet und überträgt den Spannungsanteil. Mit der Aluminiumscheibe ist ein Rollenzählwerk verbunden, welches den gemessenen Verbrauch in Kilowattstunden anzeigt. Je nach Zählertyp entsprechen z.B. 75 oder 150 Umdrehungen der Scheibe einer Kilowattstunde, der entsprechende Wert (U/kWh) ist üblicherweise auf der Vorderseite des Zählers vermerkt (siehe Abbildung 2.1).

Üblicherweise werden Ferrariszähler beim Letztverbraucher einmal jährlich abgelesen und alle 16 Jahre geeicht.



Abbildung 2.1.: Ferrariszähler (Schwöbel, 2015)

2.1.2 Moderne / Intelligente Messsysteme

Im Gegensatz zu konventionellen (analogen) Zählern besitzen moderne Messsysteme einen Analog-Digital-Wandler welcher die analogen Messwerte digitalisiert und bspw. über ein Display anzeigt. Moderne Messsysteme verfügen weiterhin über eine CPU und einen internen Speicher auf welchem Messwerte vorgehalten werden können. Das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende schreibt vor, dass Letztverbraucher, sofern es wirtschaftlich vertretbar und nicht bereits eine Ausstattung mit intelligenten Messsystemen vorgeschrieben ist, mindestens mit modernen Messsystemen ausgestattet werden sollen. Die Ausstattung hat dabei bis zum Jahr 2032 und bei Neubauten und größeren Renovierungen nach 2010/31/EU bis zur Fertigstellung des Gebäudes zu erfolgen.

Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) fordert für Neubauten und bei größeren Renovierungen den Einbau von Zählern, die dem Letztverbraucher Informationen über den tatsächlichen Verbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit wiedergeben können. In diesem Zusammenhang sind zwei wesentliche Zähler-Konzepte zu berücksichtigen: EDL21 und EDL40. Bei einem EDL21-Zähler hat die Messwerterfassung in einem Zeitintervall von mindestens 15 Minuten zu erfolgen. Weiterhin muss ein solcher Zähler in der Lage sein zwei Tarifregister zu verwalten und die Messwerte mindestens 365 Tage vorhalten können. Der Zähler bietet zwei Schnittstellen. Die INFO-Schnittstelle dient der Information des Letztverbrauchers über den gemessenen Verbrauch. Die MSB-Schnittstelle sollte dem Messstellenbetreiber zugänglich sein und dient dem Auslesen von Messdaten und dem Empfang von Steuersignalen. Ein EDL40-Zähler besitzt weiterhin ein Kommunikationsmodul (MUC) welches die Vorgaben des BSI-Schutzprofils erfüllt und die Einbindung in ein intelligentes Netz ermöglicht. Die MUC-Schnittstelle erlaubt somit vor allem die Fernauslesung und damit eine Verlagerung der Datenerfassung auf eine externe Ebene. Ein Zähler der diese Anforderungen erfüllt wird als intelligentes Messsystem bezeichnet.

2.2 Gaszähler

Mit einem Gaszähler wird das Volumen des durchströmenden Gases erfasst. Am weitesten verbreitet sind sogenannte Balgengaszähler. Diese mechanischen Zähler besitzen zwei Kammern durch welche abwechselnd Gas strömt und die durch eine bewegliche Membran voneinander

getrennt sind. Strömt Gas in eine der Kammern dehnt sich die Membran aus und treibt mit ihrer Bewegung eine Kurbelwelle an welche wiederum ein Zählwerk antreibt. Es existieren weiterhin elektronisch oder mikrothermisch arbeitende Gaszähler ohne bewegliche Teile. Diese Zähler messen die Strömung mittels Halbleitersensoren und stellen die Messdaten digital zur Verfügung. Dadurch eignen sich derartige Zähler besser für eine Einbindung in ein intelligentes Netz.

Bezüglich der Anbindung an ein Kommunikationsnetzwerk und der Sicherheit der Datenübertragung gelten für Gaszähler die gleichen Anforderungen und Richtlinien wie für Stromzähler.

2.3 Smart Grid und Smart Meter Gateway

Um möglichen Missbrauchsszenarien vorzubeugen und um die konfliktfreie Kommunikation der Akteure in einem intelligenten Netz (Smart Grid) zu gewährleisten, wurden vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) entsprechende Richtlinien erarbeitet.

Das BSI-Schutzprofil basiert auf dem internationalen Standard zur Zertifizierung der Sicherheit von Computersystemen, der „Common Criteria for Information Technology Security Evaluation“ (ISO/IEC 15408-1..3). Die Schutzprofile und Technischen Richtlinien wurden im Januar 2013 veröffentlicht und definieren einen Sicherheitsstandard für intelligente Messsysteme zur Einbindung in ein intelligentes Netz. Das Kommunikationsmodul künftig zu installierender intelligenter Messsysteme muss demnach mit einem sogenannten Smart Meter Gateway ausgestattet sein. Im Folgenden wird zunächst die allgemeine Architektur eines intelligenten Netzes beschrieben und anschließend auf das Zusammenspiel der einzelnen Akteure genauer eingegangen.

2.3.1 Die Architektur eines Smart Grids

Das Sicherheitskonzept des BSI sieht eine Unterteilung des intelligenten Netzes in verschiedene Teilnetze vor (Abbildung 2.2). Diese Teilnetze sind durch das Smart Meter Gateway verbunden.

Local Metrological Network (LMN)

Das LMN umfasst alle intelligenten Messsysteme die einem Verbraucher oder Erzeuger zugeordnet sind. Dies sind somit bspw. Strom-, Gas- oder Wasserzähler aber auch Messsysteme welche eine Stromerzeugung durch z.B. Photovoltaikanlagen erfassen.

Home Area Network (HAN)

Dieses Teilnetz bildet die Schnittstelle zum Letztverbraucher. Innerhalb dieses Netzwerks kann der Letztverbraucher über eine entsprechende Schnittstelle auf seine Messdaten zugreifen, bspw. mittels PC oder Smartphone. Das HAN stellt ebenfalls die Schnittstelle für Servicemaßnahmen zur Verfügung. Zwar kann über diese Schnittstelle nicht auf die Messdaten zugegriffen werden, aber es können Konfigurationen und Fehlerdiagnosen durchgeführt werden. Im HAN befinden sich ebenfalls alle von außen ansteuerbaren Geräte, bspw. Geräte der Heimautomation (Smart Home).

Wide Area Network (WAN)

Das Wide Area Network dient der Kommunikation mit externen Akteuren. Dabei kann es sich zum Beispiel um Messstellenbetreiber, Energieversorger oder Telekommunikationsanbieter handeln.

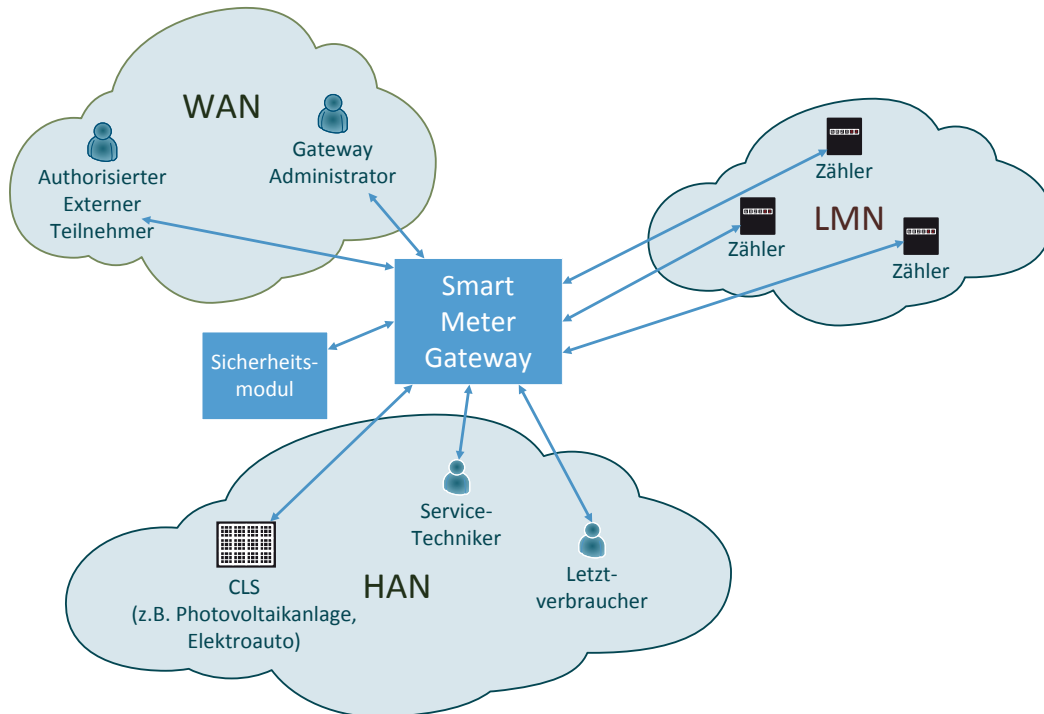


Abbildung 2.2.: Architektur des Smart Grids (Schwöbel, 2015), nach BSI-CC-PP-0073 (BSI, 2014)

2.3.2 Das Smart Meter Gateway (SMGW)

Das Smart Meter Gateway regelt die Kommunikation zwischen den Teilnetzen des Smart Grids und erfüllt in diesem Sinne die Aufgabe einer Firewall um unberechtigte Zugriffe abzuwehren. Das SMGW besitzt ein eigenständiges Sicherheitsmodul welches die kryptografischen Komponenten zur Verschlüsselung von Daten und der Erstellung digitaler Schlüssel und Signaturen vereint. Alle Daten die über das Smart Meter Gateway gesendet werden, werden zunächst verschlüsselt. Dadurch ergeben sich für die lokalen Zähler geringere Anforderungen an eine sichere Datenübertragung.

Ein SMGW verwaltet in der Regel mehrere Zähler aber jeder Zähler ist immer nur genau einem Gateway zugeordnet. Dadurch ist es möglich, dass sich mehrere Letztverbraucher ein gemeinsames Gateway teilen, bspw. würde es ausreichen einem Mehrfamilienhaus lediglich ein SMGW zuzuordnen.

2.4 Verwendete Zähl- und Messtechnik im Bereich Haushaltskunden

Die Bundesnetzagentur gibt in ihrem aktuellen „Monitoringbericht 2015“ einen Überblick zu den eingesetzten Messtechniken für die Stromverbrauchserfassung im Haushaltsbereich (Tabelle 2.1). Demnach sind derzeit weiterhin vorwiegend Ferrariszähler eingesetzt. Weniger als

1 % aller installierten Messsysteme erfüllen die Anforderungen nach 2.3. Eine Fernauslesung ist derzeit nur an 656.912 (507.349 + 149.563) Zählpunkten möglich.

Tabelle 2.1.: Zähl- und Messtechniken im Bereich Haushaltskunden (Bundesnetzagentur, 2016)

Anforderung	Zählpunkte 2014	Anteil [%]
a) elektromechanische Zähler (Wechsel- und Drehstromzähler nach Ferraris-Prinzip)	45.064.524	85,1
davon Zwei- bzw. Mehrtarifzähler (Ferraris-Prinzip)	2.986.830	5,6
b) elektronische Messeinrichtung (Basiszähler, der nicht kommunikativ angebunden ist)	4.219.719	8,0
c) elektronisches Messsystem (bei dem der Basiszähler fernkommunizieren kann, was jedoch nicht den Kriterien des § 21i ff. EnWG ent- spricht)	507.349	1,0
d) Messsystem, das §§ 21d, 21e EnWG entspricht	149.563	0,3
	52.927.985	100

2.5 Möglichkeiten der automatisierten Datenerfassung an ortsfesten Zählpunkten

Das deutsche Versorgungsnetz befindet sich im Wandel, jedoch steht die flächendeckende Umsetzung der in 2.3 beschriebenen Konzepte noch bevor. Da derzeit keine Möglichkeit besteht, in größerem Umfang Messdaten von Letztverbrauchern über entsprechende Kommunikationsmodule intelligenter Messsysteme zu beziehen, muss die Datenerfassung im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts lokal an den Zählpunkten der Letztverbraucher erfolgen. Dieser Abschnitt geht auf die hierfür vorhandenen Schnittstellen und Möglichkeiten der Digitalisierung analoger Zähler ein.

2.5.1 Schnittstellen

In diesem Abschnitt wird ein Überblick zu den verschiedenen marktüblichen Schnittstellen gegeben mit welchen eine digitale Erfassung von Verbrauchsmesswerten möglich ist. Die Bandbreite umfasst dabei sowohl optische (Infrarot), als auch kabelgebundene und Funkschnittstellen.

M-Bus (EN 13757)

Die M-Bus (Meter-Bus) Schnittstelle ist ein Feldbus für die Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren und kann ebenfalls zur Erfassung von Verbrauchsdaten genutzt werden. Die Bus-Architektur sieht eine Aufteilung in Master und Slaves vor. Der Master fragt Daten bei den zugeordneten Slaves (z.B. Zähler) ab. Die Kommunikation basiert auf einer Modulation der Versorgungsspannung bzw. des Stromverbrauchs. Eine Anbindung erfolgt in der Regel über ein klassisches Telefonkabel (Typ J-Y(St)Y Nx2n0,8mm), es existieren aber auch kabellose Varianten.

ten mit Funkübertragung. Um die Daten mit einem PC auslesen zu können wird ein serieller Pegelwandler benötigt.

Modbus

Die Modbus-Schnittstelle kommt überwiegend im industriellen Bereich zum Einsatz. Der Modbus ermöglicht die Bestimmung von Wirkleistung, Blindleistung, Stromstärke und Spannung. Als Kommunikationsschnittstellen werden EIA-232 oder EIA-485 eingesetzt. Die Anbindung ist über RJ45 oder einen D-shell 9-pin Connector möglich.

KNX

KNX (Konnex) entspricht dem europäischen Installationsbus (EIB) und wird vorwiegend in der Gebäudeautomation eingesetzt. Daten können über verschiedene kabelgebundene Medien ausgelesen werden (bspw. Ethernet). Über eine Kopplung ist auch eine Fernauslesung möglich.

S0-Schnittstelle (EN 62053-31)

Die S0-Schnittstelle dient der Messdatenübertragung und kann als Transistor oder Optokoppler umgesetzt werden. Pro elektrischer Arbeitsmenge (z.B. 1 kWh) wird eine bestimmte Anzahl an Stromimpulsen übertragen. Die Auslesung mittels eines PC kann bspw. über einen entsprechenden USB- oder Ethernet-Adapter erfolgen.

D0-Schnittstelle (IEC 62056-21, -61)

Die D0-Schnittstelle ist eine optische Schnittstelle die ähnlich der S0-Schnittstelle Messdaten in Impulsen überträgt. Eine Kilowattstunde entsprechen dabei meist 1000 Impulsen. Die Kommunikation wird über eine Anmeldesequenz gestartet, mit dem sich bspw. ein Lesegerät am Zähler identifiziert.

Reed-Relais

Manche analoge Gaszähler besitzen im letzten Ziffernrad einen Magnet im Nulldurchgang. Mittels eines Reed-Relais kann das "Vorbeilaufen" des Magnets gemessen werden. Ein Reed-Relais ist ein einfacher Schalter mit zwei ferromagnetischen Kontaktzungen, die bei äußerer Einwirkung eines Magnetfeldes den Kontakt schließen und somit einen Stromfluss herstellen, welcher als Impuls detektiert werden kann.

Digitalisierung von Ferrariszählern

Für die Digitalisierung von Ferrariszählern stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits kann die Drehung der Aluminiumscheibe erfasst werden, indem ein optischer Sensor die Markierung (meist rot) bei jeder vollen Rotation erkennt. Andererseits kann ein optischer Sensor die Ziffern des Zählwerks ablesen.

Für die Ablesung des Zählwerks gibt es gebrauchsfertige Lösungen verschiedener Anbieter. Dabei wird der Zählerstand in der Regel in 15-Minuten Intervallen abgelesen und über verschiedene Schnittstelle (z.B. M-Bus, USB, Wireless) übertragen. Jedoch hängt die Qualität dieser Systeme stark von den vorherrschenden Lichtverhältnissen ab und stellt Herausforderungen an die eingesetzte Software zur Bilderkennung.

Für die Erfassung der Drehung der Aluminiumscheibe existieren ebenfalls verschiedene Lösungen, deren Qualität jedoch variiert. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde sich für eine OpenSource-Lösung entschieden, welche über volkszaehler.org angeboten wird.

2.5.2 Open Source Lösung von volkszaehler.org

Das Portal volkszaehler.org bietet Informationen rund um das Thema Smart Metering und Anleitungen für Letztverbraucher, wie ein Smart Metering System in Eigenregie aufgebaut werden kann.

Mit den auf dem Portal dargestellten Lösungen lassen sich auch konventionelle Messsysteme über entsprechende Leseköpfe digital auslesen. Weiterhin wird eine OpenSource-Middleware zur Verfügung gestellt, welche je nach verwendeter Schnittstelle die Datenerfassung und Datenthaltung übernimmt. Die Linux-basierte Software kann dabei auf einem Einplatinen-Computer (z.B. Raspberry Pi / ODR0ID) oder einem herkömmlichen PC installiert werden. Ebenfalls stehen quelloffene gebrauchsfertige Softwarelösungen für die Auswertung der Messdaten zur Verfügung. Auf Grund des OpenSource-Charakters der angebotenen Lösungen ist eine Anpassung und Erweiterung des Systems möglich.

Für die Digitalisierung von Ferrariszählern kann der in Abbildung 2.3 dargestellte Lesekopf bestellt werden. Der Lesekopf erfasst, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, die Drehung der Aluminiumscheibe und überträgt pro Umdrehung einen Impuls über eine S0- oder USB-Schnittstelle. Durch die Integration eines USB-Wandlers ist diese Lösung besonders einfach an einen PC oder Einplatinen-Computer anzubinden.

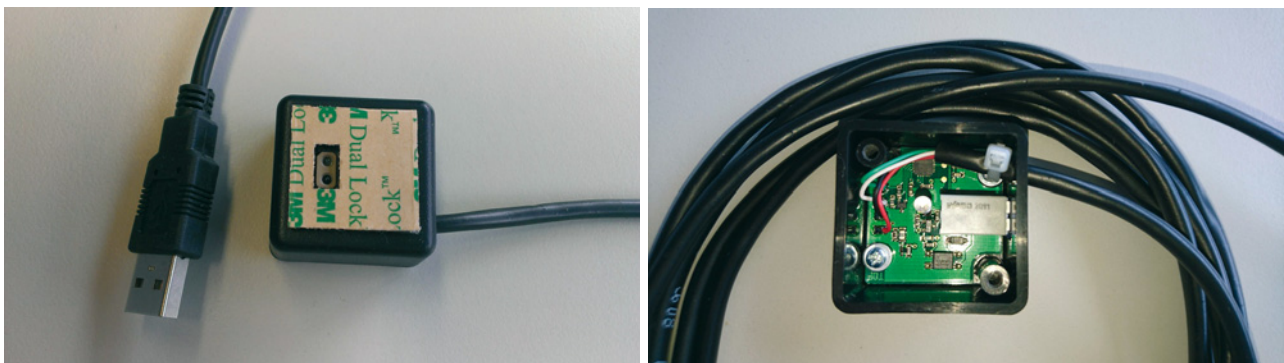


Abbildung 2.3.: Lesekopf zur Digitalisierung von Ferrariszählern nach volkszaehler.org

2.6 Datenerfassung und -management im Rahmen des SmartER Game

Wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, stellt der private Wohnbereich zwar ein inhomogenes Zählerumfeld dar, jedoch sind vor allem im Bereich der Stromverbrauchserfassung überwiegend elektromechanische Ferrariszähler eingesetzt. Da derartige Zähler keine direkte Fernauslesung ermöglichen, wurde ein Konzept zur Datenerfassung und -übertragung entwickelt, welches es erlaubt, analoge Ferrariszähler zu digitalisieren und Messdaten in hoher zeitlicher Auflösung von einem Energiezähler zu einem Messdaten-Server zu übertragen. Hierfür wurde ein flexibler Datenlogger (siehe 2.6 „SmartER Box“) konzipiert. Der Datenlogger ist

in der Lage über verschiedene Schnittstellen Messdaten aufzuzeichnen und zu speichern. Je nachdem ob die örtlichen Gegebenheiten eine Anbindung des Datenloggers an das Internet erlauben, werden die Messdaten entweder von einem zentralen Messdaten-Server periodisch abgefragt und übertragen oder über ein zertifiziertes Speichermedium (USB-Stick) vom Nutzer ausgelesen und anschließend über das Webportal auf den Messdaten-Server übertragen. Für die Gewährleistung einer sicheren Datenübertragung wird die Open Source Software OpenVPN verwendet, welche zum Aufbau einer verschlüsselten TLS-Verbindung (Transport Layer Security) dient. Hierfür wird auf dem Messdaten-Server ein OpenVPN-Zertifikat ausgestellt, welches auf dem Datenlogger registriert werden muss. Das Datenmanagement auf Seiten des Datenloggers erfolgt mit einer angepassten Softwareversion der WiriBox[®], welche durch die WiriTec GmbH zur Verfügung gestellt wird. Der Messdaten-Server wird im Rahmen dieses Forschungsprojekts von der Hetzner Online GmbH¹ betrieben und ist als Windows Server (2012 R2 SE) konfiguriert. Die Datenhaltung erfolgt in einer relationalen Datenbank (MS SQL Server 2008 R2). Der Server dient ebenfalls als Web-Server für das entwickelte Webportal, welches als ASP.NET Web-Applikation ausgeführt ist (siehe 5).

Abbildung 2.4 stellt die grundlegende Architektur des Systems als UML Deployment Diagram dar. Der beschriebene Prozess der Datenerfassung und -übertragung ist in Abbildung 2.5 in Form eines BPMN-Prozessmodell dargestellt.

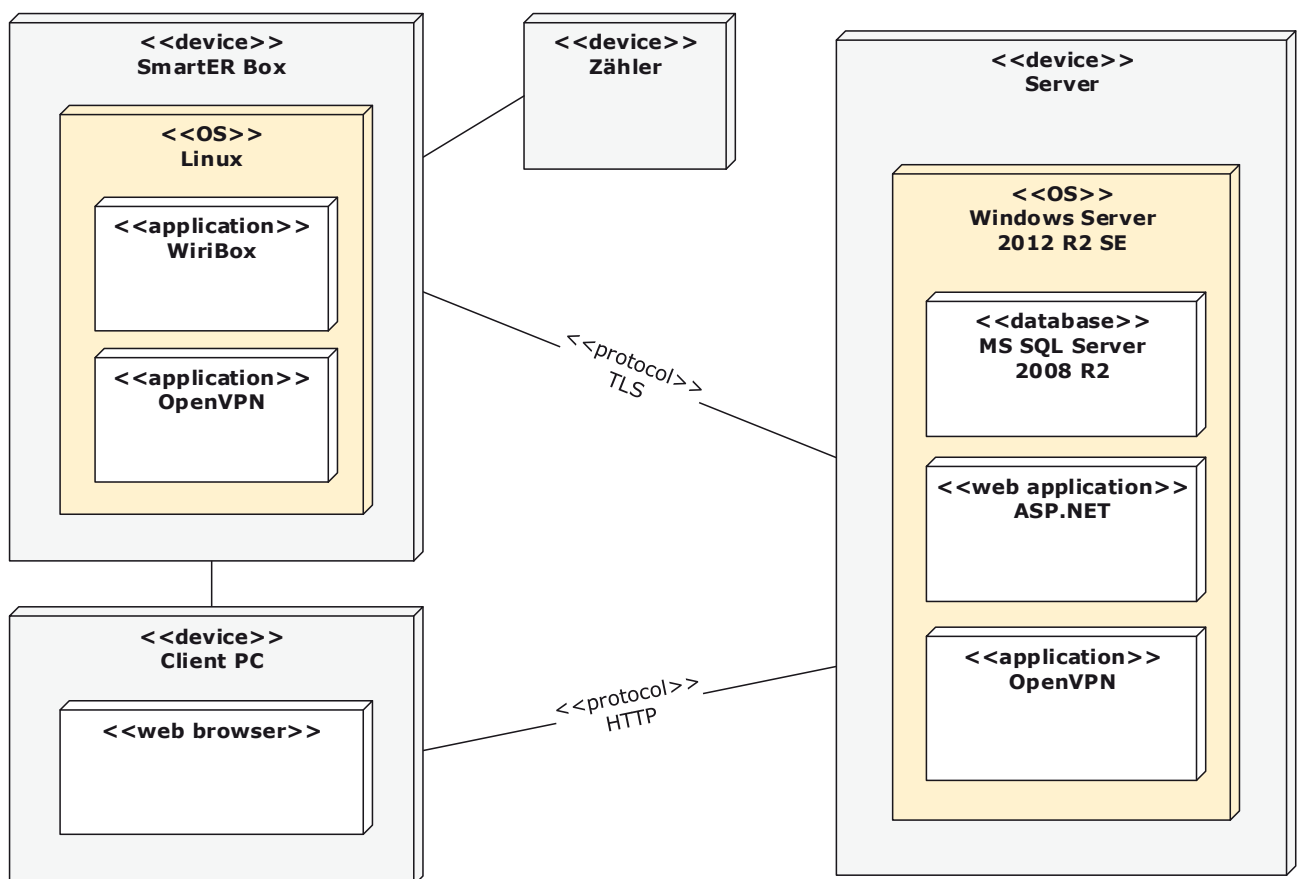


Abbildung 2.4.: Deployment Diagram der wesentlichen Systemkomponenten nach UML Notation (ISO/IEC 19505-1 und 19505-2)

¹ Hetzner Online GmbH, Industriestr. 25, 91710 Gunzenhausen, www.hetzner.de

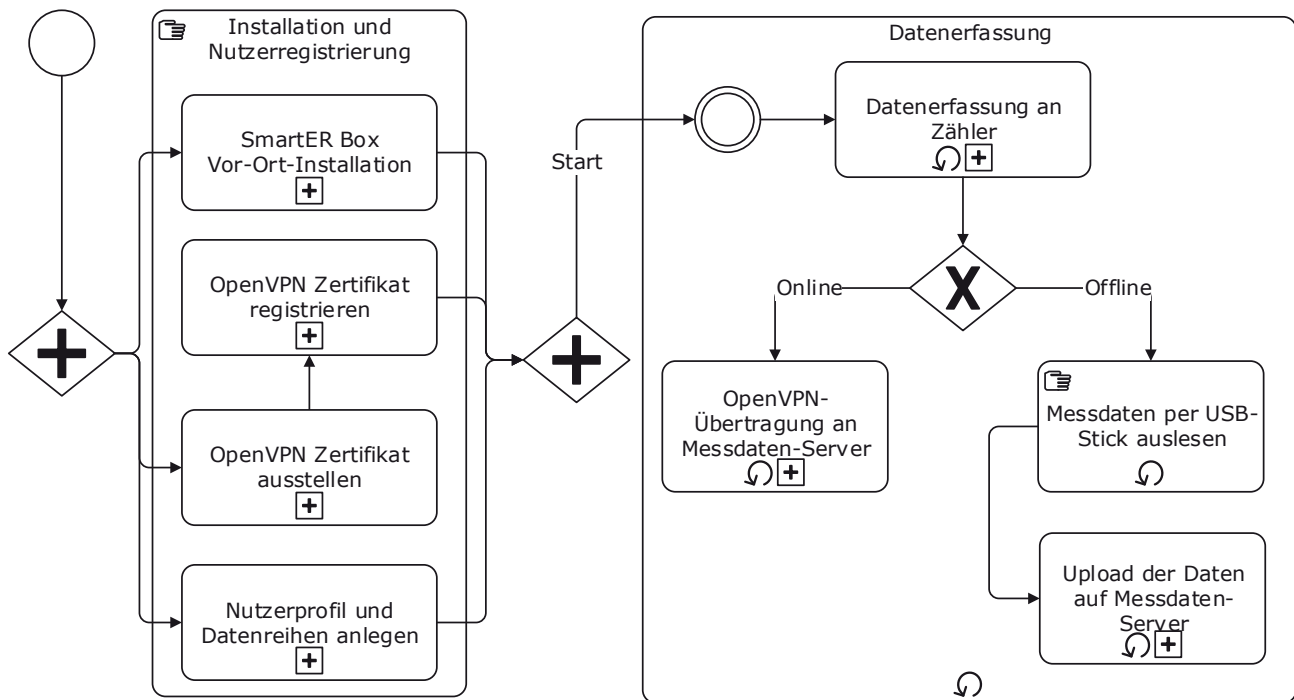


Abbildung 2.5.: Prozessmodell der Datenerfassung und -übertragung nach Business Process Model and Notation Specification (BPMN 2.0.1 - ISO/IEC 19510:2013)

2.6.1 Die SmartER Box

Bei der Konzeption des Datenloggers wurden im Vorfeld die folgenden Anforderungen definiert:

- Einfache Anbindung marktüblicher Zähler (möglichst „Plug & Play“)
- Unterstützung gängiger Schnittstellen
- Digitalisierung analoger Ferrariszähler
- Kostengünstig (< 100 €)
- Niedriger Eigen-Stromverbrauch des Geräts
- Einfache Anbindung an LAN / WLAN
- Sichere Datenübertragung

Auf Basis dieser Anforderungen wurde die „SmartER Box“ konzipiert (Abbildung 2.6).

Hardware

Die SmartER Box ist ein Einplatinen-Computer vom Typ ODROID-C1.

Technische Daten:

- Betriebsspannung: 5 V-/2 A (Hohlbuchse 2,5/0,8 mm, + innen)
- CPU: Amlogic S805 Cortex A5 (ARM v7), 1,5 GHz, QuadCore

- Grafik: Mali-450 MP2 GPU (OpenGL ES 2.0/1.1)
- Arbeitsspeicher: 1GB DDR3
- Anschlüsse: 4x USB 2.0, Gigabit-LAN, Micro-USB OTG, Micro-HDMI, Backup-Batterie, serielle Konsole
- Speichererweiterung: microSD, eMMC 4.5
- Erweiterungsports: 40-Pin GPIO (I²C, SPI, UART, ADC), IR-Empfänger
- Betriebssysteme: Ubuntu, Android
- Gewicht: 40 g
- Maße (LxB): 85x56 mm

Als Speichermedium wird eine MicroSD-Karte verwendet, auf welcher ebenfalls das Betriebssystem installiert ist.



Abbildung 2.6.: SmartER Box vom Typ ODR0ID-C1

Die SmartER Box besitzt vier USB 2.0 Anschlüsse. Ein Anschluss ist dabei für die Stromversorgung reserviert. Über entsprechende Adapter können somit bis zu drei Zähler angeschlossen werden. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass ggf. ein USB-Anschluss für das manuelle Auslesen der Messwerte frei gehalten werden muss.

Software

Die SmartER Box ist mit einer angepassten Software-Version der WiriBox[®] ausgestattet, wodurch die Unterstützung verschiedenster Schnittstellen und Protokolle gewährleistet ist. Die Datenübertragung an den Messdaten-Server erfolgt mittels OpenVPN und TLS-Verschlüsselung.

Kosten

Die Kosten für den hier vorgestellten Datenlogger variieren je nach Anbieter und benötigter Schnittstelle (z.B. Ferraris-Lesekopf). Eine überschlägige Kostenaufstellung ist in Tabelle 2.2 gegeben. Hierbei ist zu beachten, dass eine SmartER Box grundsätzlich mehrere Zähler verwalten kann. Es wäre also bspw. möglich, bis zu drei USB-Anschlüsse mit Ferraris-Leseköpfen auszustatten. In diesem Fall könnten sich in einem Mehrfamilienhaus drei Parteien eine SmartER Box teilen und somit die Kosten pro Haushalt erheblich reduzieren.

Tabelle 2.2.: Kostenaufstellung SmartER Box

Position	Stück-Preis [€]
ODROID-C1 Einplatinen-Computer	44,00
ODROID-C1 Gehäuse	6,45
MicroSD Speicherkarte 8GB Class 10	4,99
USB-Ladeadapter 5V	6,95
USB-Stromversorgungskabel	2,95
Ferraris-Lesekopf (optional)	(52,09)
	67,43 (117,43)

Praxistests

Die Praxistauglichkeit des konzipierten Datenloggers wurde umfangreich getestet. Abbildungen 2.7 und 2.8 zeigen einen Testaufbau, bei welchem zwei Ferraris-zähler an eine SmartER Box angeschlossen wurden, sowie die im Laufe einer Woche aufgezeichneten Messwerte.



Abbildung 2.7.: Testaufbau mit zwei Ferraris-Leseköpfen

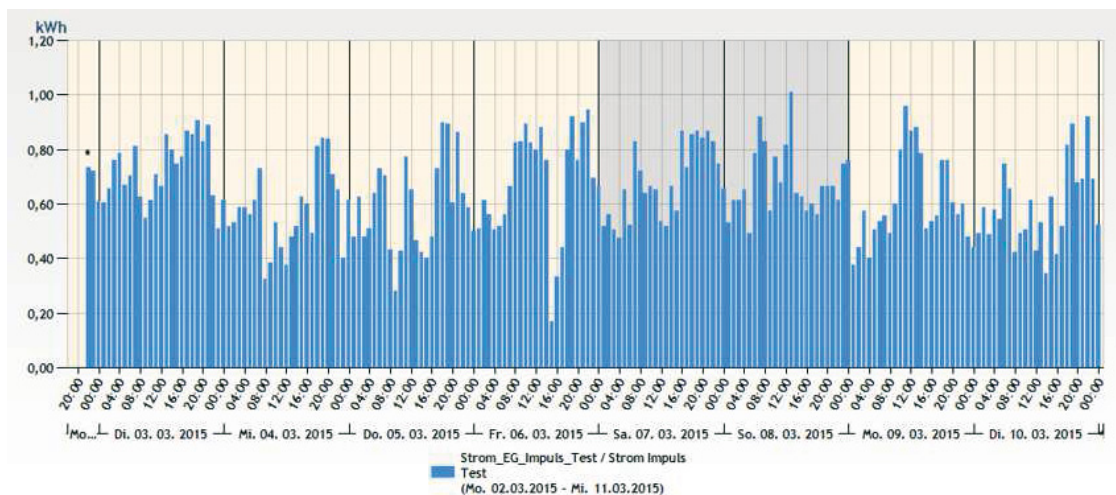


Abbildung 2.8.: Stündlich summierte Impulse im Rahmen einer einwöchigen Testphase

3 Analyse der Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für den Einsatz digitaler Spiele als Interventionstechnik

Basierend auf dem von Schwöbel (2015) beschriebenen Prozessmodell zur Entwicklung eines zweckgebundenen digitalen Spiels (Abbildung A.1), wird in diesem Kapitel zunächst das Problemfeld der Optimierung des Energieverbrauchs in Privathaushalten genauer analysiert. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens werden umrissen und die Voraussetzungen für den Einsatz digitaler Spiele als Interventionstechnik werden besprochen.

3.1 Energetische Optimierungspotentiale in Privathaushalten

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Bericht genannt, entfallen rund 26 % des deutschen Endenergieverbrauchs auf den Haushaltssektor. Als Haushalt wird im Rahmen dieses Forschungsprojekts eine abgeschlossene Wohn- und Wirtschaftseinheit in Form eines Privathaushalts verstanden. Ein Haushalt kann aus einer einzelnen Person, einer Familie oder einer Wohngemeinschaft bestehen. Eine Wohneinheit kann dabei in Form einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus, als Einfamilienhaus, Reihenhauses, oder als Doppelhaushälfte vorliegen.

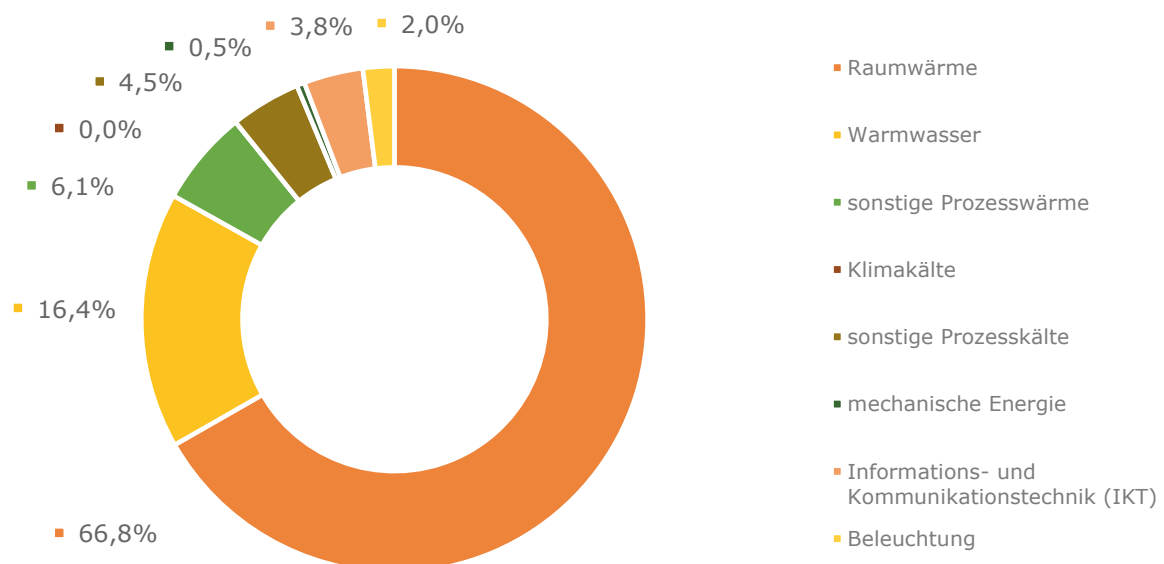


Abbildung 3.1.: Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen in privaten Haushalten 2014 (BMW, 2016)

Abbildung 3.1 zeigt die Aufteilung des Endenergieverbrauchs im Haushalt nach Anwendungsbereich. Es ist zu erkennen, dass der überwiegende Teil des Energieverbrauchs durch die Wärmeerzeugung (Raumwärme und Warmwasser) bedingt ist. Der Anteil des Stromverbrauchs fällt

bei Betrachtung aller Anwendungsbereiche relativ gering aus, stellt jedoch einen Bereich dar, auf welchen der Nutzer große Einflussmöglichkeiten hat.

In den folgenden Abschnitten werden die Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Haushalten genauer besprochen. Dabei wird zunächst in technische Maßnahmen und Maßnahmen bezogen auf das Nutzerverhalten unterschieden.

3.1.1 Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen bezeichnen im Rahmen dieses Berichts Eingriffe in die Gebäudesubstanz oder die technische Gebäudeausrüstung, sowie den Austausch von Geräten. Derartige Maßnahmen können auch ohne eine Veränderung des Nutzerverhaltens zu Energieeinsparungen führen, sind jedoch in der Regel mit Investitionskosten verbunden.

Energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle und effizientere Anlagentechnik

Im Bereich des thermischen Energieverbrauchs bietet die energetische Ertüchtigung von Gebäuden ein großes Einsparpotenzial. Dies kann vor allem durch Wärmedämmung der Außenwände und des oberen und unteren Gebäudeabschlusses erreicht werden. Weitere Maßnahmen können der Austausch von Fenstern und Türen durch neue Materialien mit geringerem Wärmedurchgangskoeffizient darstellen. Aber auch durch Erneuerung der Anlagentechnik für Heizung und Warmwasserbereitung können große Einsparungen erzielt werden, beispielsweise durch den Einsatz von Brennwerttechnik oder Wärmepumpen. Nicht zuletzt können thermische Solarkollektoren die Warmwasserbereitung sinnvoll unterstützen und so den Energieverbrauch verringern. Diese Maßnahmen sind mit hohen Kosten verbunden und vor allem die energetische Sanierung der Gebäudehülle verlangt hohe technische Anforderungen an die Konstruktion. Für eine Einschätzung des energetischen Einsparpotentials durch Wärmedämmmaßnahmen muss jedes Gebäude individuell betrachtet werden. Berechnungen nach der dena-Sanierungsstudie (Stolte et al., 2011) geben an, dass bei einer Sanierung eines unsanierten Einfamilienhauses auf Neubaustandard allein durch die Fassadendämmung rund 30 % Energie eingespart werden können.

Optimierung durch Gebäudeautomation

Gebäudeautomation kann dazu eingesetzt werden, Betriebsabläufe zu optimieren und somit unter anderem auch Energie einzusparen. Beispielsweise können Helligkeitssensoren dazu eingesetzt werden bei ausreichendem natürlichen Lichteinfall die Beleuchtung zu verringern oder auszuschalten. Bezüglich des Einsparpotentials elektrischer Energie im Haushalt durch den Einsatz von Gebäudeautomation gibt es noch keine umfassenden Studien. Ebenfalls sind entsprechend ausgerüstete Smart Home Komponenten derzeit noch wenig verbreitet.

Eine intelligente Heizungssteuerung bietet die Möglichkeit der Fernsteuerung der Heizung oder auch den bedarfsgerechten Betrieb durch eine automatisierte Anwesenheitserkennung. Einsparpotentiale in diesem Bereich werden je nach Gebäudetyp und -alter auf 10 % bis 20 % geschätzt (Girod et al., 2014).

Austausch von Geräten

Der Austausch von ineffizienten Alt-Geräten stellt ein weiteres technisches Einsparpotential dar. Dabei bietet vor allem die sogenannte „Weiße Ware“ (Geräte für Kochen, Spülen, Waschen, Kühlen, Gefrieren) die Möglichkeit größerer Energieeinsparungen. Da der Austausch von derartigen Geräten jedoch ebenfalls mit relativ hohen Kosten verbunden ist, erfolgt ein Austausch in der Regel nur auf Grund eines Defekts oder eines hohen Gerätealters. Bürger (2009) ermittelte im Rahmen einer Studie verschiedene theoretische Einsparpotentiale für den Austausch elektrischer Geräte. So sind beispielsweise die Einsparungen bei Austausch eines 15 Jahre alten Kühlschranks durchaus signifikant (über 50 %).

3.1.2 Nutzerverhalten

Energieeinsparmaßnahmen die auf einer Veränderung des Nutzerverhaltens basieren sind in der Regel mit wenigen oder gar keinen Kosten verbunden. Allerdings können manche Maßnahmen in einem Spannungsfeld zum Wohnkomfort stehen, bspw. wenn es um die Einstellung der Raumtemperatur geht.

Nutzergesteuerte Einsparung von Heizenergie

Heizenergie-bezogene Einsparpotenziale, basierend auf einem optimierten Nutzerverhalten, lassen sich nur mit hohem Aufwand quantifizieren. Zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts lagen hierzu keine Studien vor. Das Umweltbundesamt gibt Hinweise zu allgemeinen Verhaltensweisen (Umweltbundesamt, 2013). Es wird empfohlen, Fenster nicht zu kippen, um ein Auskühlen der Wände zu vermeiden. Stattdessen sollte durch kurzes Stoß- und Querlüften für Luftaustausch gesorgt werden und dabei die Heizung zuge dreht werden. Heizkörper sollten außerdem nicht durch Möbelstücke verdeckt sein und es sollte regelmäßig der Wasserdruck und die Vorlauftemperatur überprüft werden. Empfehlungen bezüglich der Raumtemperatur sind 20°C für den Wohnbereich, 18°C in der Küche und 17°C im Schlafzimmer. Bei längerer Abwesenheit wird empfohlen die Temperatur abzusenken. Nachts kann der Wärmeverlust durch die Fenster zusätzlich durch ein Schließen der Jalousien und Rolläden um bis zu 20 % verringert werden.

Nutzergesteuerte Einsparung von elektrischer Energie

Im Bereich privater Haushalte besteht eine Vielzahl an nutzerabhängigen Einflussmöglichkeiten auf den Verbrauch elektrischer Energie. In Tabelle A.1 sind Einsparpotentiale für verschiedene Gerätetypen aufgelistet. Als Beispiel sei hier die in der Öffentlichkeit häufig diskutierte Maßnahme zur Einsparung elektrischer Energie durch Vermeidung des Schein-aus- und Bereitschaftsbetriebs (Standby-Betrieb) genannt. Als Schein-aus wird ein Zustand bezeichnet, bei dem ein elektrisch betriebenes Gerät keine Funktion zur Verfügung stellt, aber dennoch elektrische Energie verbraucht. Ein Beispiel hierfür wäre ein PC. Im Standby-Betrieb wird ebenso elektrische Energie verbraucht, aber zumindest eine Funktion zur Verfügung gestellt (z.B. im Falle eines Fernsehers das Anschalten per Fernbedienung). Wie das relative Einsparpotenzial in Tabelle A.1 zeigt, kann durch Vermeidung des Schein-aus- oder Bereitschaftsbetriebs über eine schaltbare Steckdosenleiste oder das Trennen vom Netz, tatsächlich ein großer Anteil der Energie eingespart werden. Dies liegt daran, dass die meisten Geräte die überwiegende Zeit in diesem Zustand verbleiben und nicht genutzt werden.

3.2 Möglichkeiten der Optimierung des Nutzerverhaltens

Energetische Einsparpotentiale lassen sich ohne eine Änderung des Nutzerverhaltens in der Regel nicht voll ausschöpfen. Dies gilt selbst für rein technische Maßnahmen, da sogenannte Rebound-Effekte oftmals lediglich zu einer Verbrauchsverlagerung führen. Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen Einflussgrößen auf das Nutzerverhalten umrissen und anschließend Möglichkeiten der Einflussnahme aufgezeigt.

3.2.1 Einflüsse auf das Verbrauchsverhalten

Die Einflüsse auf das Nutzerverhalten können wie folgt kategorisiert werden (Schwöbel, 2015):

- Wissensspezifische Komponenten
- Ökonomische Komponenten auf Haushaltsebene
- Technische Komponenten
- Politische Komponenten
- Psychologische Komponenten

Wissensspezifische Komponenten

Das individuelle Handeln wird nicht zuletzt durch das individuelle Wissen über die Auswirkung konkreter Handlungen bestimmt. Im Kontext der Energieeinsparung im Haushalt bedeutet dies, dass ein Nutzer zunächst Wissen über den Effekt verschiedener Handlungsoptionen besitzen muss um eine optimale Handlung auszuführen. Dazu zählt bspw. das Wissen über technische Größen wie den Standby-Verbrauch einzelner Geräte, sowie weitere Kenntnisse in Bezug auf energieeffizientes Verhalten (z.B. schaltbare Steckdosenleisten, optimale Kühlschranktemperatur, geeignetes Kochgeschirr etc.).

Ökonomische Komponenten auf Haushaltsebene

Auf der Ebene des einzelnen Haushalts ist das energieeffiziente Handeln oftmals auch an die finanziellen Mittel gekoppelt. Spielen die Energiekosten finanziell eine eher untergeordnete Rolle, so ist ggf. auch die Motivation für energieeffizienteres Handeln geringer. Gleichsam setzt die Anschaffung effizienterer Geräte die Verfügbarkeit eines entsprechenden Budgets voraus.

Technische Komponenten

Im Bereich der verhaltensgetriebenen Effizienzmaßnahmen spielen technische Faktoren eher eine untergeordnete Rolle. Dennoch können die technischen Gegebenheiten den Handlungsspielraum unter Umständen ebenfalls einschränken. Beispielsweise kann der Umstieg von einer elektrischen Heizung auf eine leitungsgebundene Heizung nicht in allen Wohnungen technisch umgesetzt werden.

Politische Komponenten

Die Gesetzgebung und politische Regulierungen können durchaus direkten Einfluss auf das Nutzerverhalten haben, wie bspw. der 2009 durch die EU eingeleitete „Glühbirnenausstieg“. Weiter-

hin können aussagekräftige Kennzeichnungen (Energielabel) die Kaufentscheidungen zugunsten effizienterer Geräte beeinflussen.

Psychologische Komponenten

Neben den wissensspezifischen Komponenten haben die psychologischen Komponenten den größten Einfluss auf das Nutzerverhalten. Heckhausen et al. (1987) beschreiben verschiedene Phasen von der Abwägung bis zur Ausführung einer Handlung. Zentrales Element ist hierbei die Motivation. Diese ist Grundvoraussetzung um eine Handlung durchzuführen und ist durch den erwarteten Nutzen, den erforderlichen Aufwand, sowie frühere Erfahrungen bedingt. Dehmel (2010) entwickelten in der Studie „Einflussgrößen auf das Stromsparen im Haushalt aus psychologischer Perspektive“ ein Handlungsmodell, welches sich an der Energieeinsparung im Haushalt orientiert. Das Modell umfasst objekt- und subjektbezogene sowie aktionale Komponenten (OSA-Modell). Abbildung 3.2 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung des Modells.

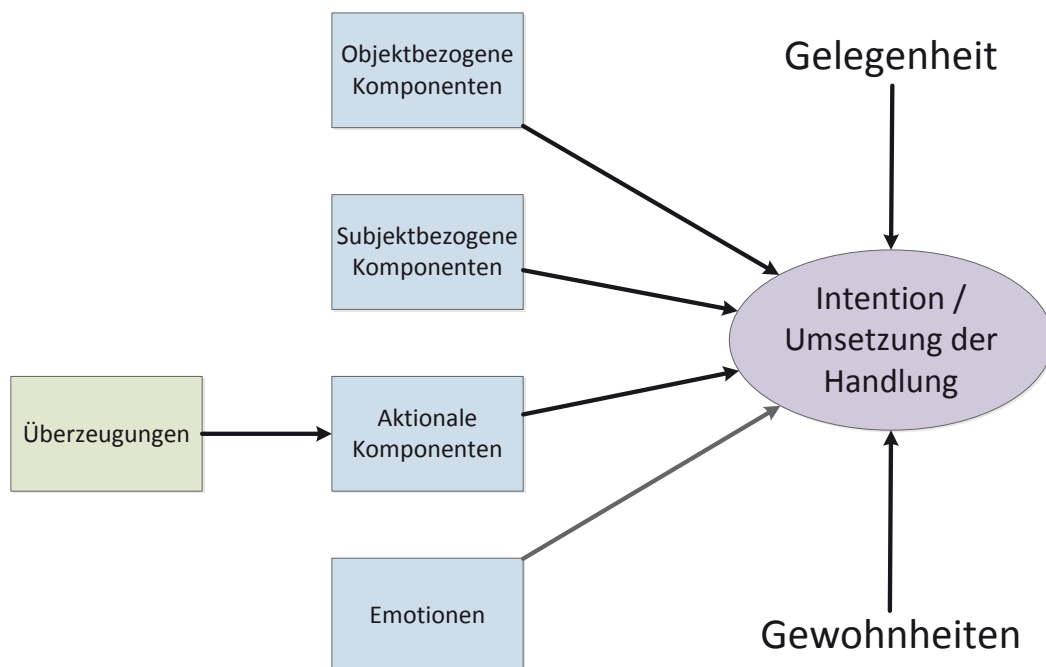


Abbildung 3.2.: OSA-Modell (Schwöbel, 2015), nach (Dehmel, 2010)

Die *objektbezogenen Komponenten* beschreiben die Problemwahrnehmung eines Individuums in Bezug auf das eigene Handeln, unabhängig davon, ob die Auswirkungen des Handelns direkt wahrnehmbar sind. Konkret bedeutet dies zum Beispiel, je ernster ein Individuum den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Energieverbrauch wahrnimmt, desto höher ist die Motivation dieses übergeordnete Problem durch eigenes Handeln positiv zu beeinflussen, also weniger Energie zu verbrauchen. *Subjektbezogene Komponenten* beschreiben in diesem Fall die Selbsteinschätzung eines Menschen bezüglich der Themen Sparsamkeit und Ökologiebewusstsein. So steigert eine Ausprägung zur Sparsamkeit unter Umständen den Vorsatz, Strom zu sparen, ohne dass gleichzeitig ein gesteigertes Ökologiebewusstsein vorhanden sein muss. Ebenso versuchen Personen, die von sich aus Umwelt- und Naturschutz als wichtige Maximen vorausgesetzt haben, sich möglichst umweltfreundlich zu verhalten und haben deshalb ein höheres Poten-

zial, Energiesparmaßnahmen durchzuführen. Die *aktionalen Komponenten* umfassen Faktoren die sich positiv oder negativ auf die Motivation zu einer Handlung auswirken. Dies involviert bspw. Überzeugungen über den Nutzen und die Durchführbarkeit von Handlungen. Demnach steht die Entscheidung zu einer Handlung in einem Spannungsfeld zwischen Kosten, Nutzen, Komfortempfinden, moralischem und sozialem Druck. In diesem Zusammenhang spielen auch *Gewohnheiten* und Verhaltensmuster eine wichtige Rolle. Diese stellen unter Umständen ein großes Hindernis bei der Entscheidung für eine Verhaltensänderung dar. Auch *Emotionen* spielen eine nicht zu vernachlässigende Rolle bei der Handlungsentscheidung und -umsetzung. Beispielsweise kann eine hohe Stromrechnung nicht nur verärgern, sondern auch gleichzeitig zu einem sparsameren Verhalten motivieren. Andererseits können Misserfolge zu Frustration und Resignation führen. Wie auch Heckhausen et al. (1987) bereits ausführt, ist der Zeitpunkt der Umsetzung der Handlung auch durch eine als geeignet wahrgenommene *Gelegenheit* determiniert. Beispielsweise bietet der Defekt des Kühlschranks die Gelegenheit für die Anschaffung eines effizienten Neugeräts.

3.2.2 Interventionsmöglichkeiten

Auf Basis der bisherigen Ausführungen werden in diesem Abschnitt verschiedene Interventionsmöglichkeiten zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens aufgeführt. Dabei kann eine Intervention interner oder externer Natur sein. Interne Interventionen zielen auf das Individuum und sollen bspw. durch Wissensvermittlung Problemwahrnehmungen beeinflussen oder argumentativ überzeugen. Eine externe Intervention zielt hingegen auf eine Veränderung der Rahmenbedingungen. Ein Beispiel für eine externe Intervention ist die Schaffung extrinsischer Anreize z.B. in Form von Preisen.

Schwöbel (2015) beschreibt sieben Arten der Intervention, welche im Folgenden kurz zusammengefasst werden. Für weiterführende Informationen sei auf Mosler (2007) und Michie et al. (2011) verwiesen.

Vermittlung von Wissen

Wissensvermittlung kann in Form von Systemwissen (Zusammenhänge) oder Handlungswissen (energiesparende Verhaltensweisen) erfolgen. Hierzu zählt auch die Bereitstellung von Informationen über den eigenen Energieverbrauch durch Smart Metering. Diese Informationen können durch geeignete Aufbereitung und Visualisierung (z.B. in einem Webportal) die Interpretation durch den Letztverbraucher erleichtern.

Argumentative Überzeugung

Argumentative Überzeugung basiert auf der Verdeutlichung von Handlungskonsequenzen, sowohl positiver (Energieeinsparung) als auch negativer (Energieverschwendung). Eine potenzielle Zielgruppe für die Anwendung dieser Technik sind Personen, die zwar Wissen über Maßnahmen zur Energieeinsparung im Haushalt besitzen, aber nicht die nötige Motivation oder moralische Verantwortung verspüren, diese auch umzusetzen.

Definition eigener Ziele und aktive Selbstkontrolle

Die aktive Setzung erreichbarer (auch kleiner) Ziele in Kombination mit einer aktiven Selbstkontrolle kann positiven Einfluss auf das Nutzerverhalten haben und auch einem Rückfall in alte Gewohnheiten entgegenwirken („Weight-Watchers-Prinzip“). Ein Ziel könnte beispielsweise sein, innerhalb eines Monats eine bestimmte Menge an Energie (verglichen mit dem Vormonat) einzusparen. Zur Zielüberprüfung können in diesem Fall ebenfalls Smart Meter Daten hilfreich eingesetzt werden.

Generelle Ermutigung

Ziel von Ermutigungen ist nicht, Einstellungen zu umweltrelevanten Themen zu beeinflussen, sondern Personen positiv anzusprechen und vorhandenes Potential zu aktivieren. Dies kann zum Beispiel durch Einbindung der Thematik in einen spielerischen Kontext (Gamification / Serious Game) geschehen, indem positive Erfahrungen wie Spaß oder Erfolgserlebnisse die Motivation des Spielers steigern.

Aufgaben mit steigendem Schwierigkeitsgrad

Werden von außen Ziele vorgegeben (z.B. in einem Spiel), so sollte der Schwierigkeitsgrad sorgfältig gewählt werden, um Frustration zu vermeiden. Die Setzung kleiner, erreichbarer Ziele mit steigendem Schwierigkeitsgrad kann hingegen motivierend wirken.

Rückmeldung über Leistungen

Rückmeldungen von außen, bspw. durch ein Computersystem, stützen die Reflexion des eigenen Handelns und können motivierend wirken. Neben informativem Feedback können Rückmeldungs-Systeme auch Belohnungen einschließen, sowohl reale (Preise) als auch virtuelle (im einem Spiel-Kontext).

Vergleich mit anderen

Eine spezielle Form der Rückmeldung ist der Vergleich mit anderen. Dieser kann einerseits die objektive Einschätzung der eigenen Situation fördern und andererseits einen wettbewerblichen Anreiz schaffen, sowie ggf. den sozialen Druck erhöhen (bspw. durch die Erkenntnis, dass alle Nachbarn deutlich weniger Energie verbrauchen). Gleichzeitig verdeutlicht ein Vergleich, dass sich auch andere um Energieeinsparungen bemühen, wodurch ein gemeinschaftlicher Antrieb gefördert wird.

Nicht jede Interventionstechnik ist in jeder Situation gleichermaßen geeignet. Tabelle 3.1 stellt die Eignung der beschriebenen Techniken für unterschiedliche Situationen dar.

3.3 Digitale Spiele als Interventionstechnik

Dieser Abschnitt beschreibt einige ausgewählte Grundlagen zu digitalen Spielmethoden mit fachlichen Lernzielen auf deren Basis das im Rahmen dieses Forschungsprojekts entworfene Spielkonzept erarbeitet wurde. Zunächst werden die typischen Elemente und Spielmechaniken digitaler Spiele beschrieben. Anschließend erfolgt eine Analyse verschiedener Spielkategorien

Tabelle 3.1.: Eignung von Interventionstechniken zur Einflussnahme auf das Energieverbrauchsverhalten (Schwöbel, 2015)

	Vermittlung von Wissen	Argumentative Persuasion	Definition eigener Ziele und aktive Selbstkontrolle	Generelle Ermutigung	Aufgaben mit steigendem Schwierigkeitsgrad stellen	Rückmeldungen über Leistungen	Vergleich mit Anderen
mangelndes Gefühl moralischer Verpflichtung		•					
subjektive Barrieren bezüglich investiver Maßnahmen	•	•	•	•			
Diskrepanz zwischen Wissen über energieeffiziente Maßnahmen und deren Umsetzung		•		•	•		•
mangelnde Einschätzung des eigenen Verbrauchs	•					•	•
keine Einsparung nach Durchführung von Effizienzmaßnahmen	•	•				•	•
mangelnde Anreize zu Lastverschiebung	•	•	•			•	
Gewohnheitshandeln	•	•	•	•	•	•	•

und ihrer Eignung als Interventionstechnik in Bezug auf eine Verhaltensbeeinflussung zugunsten eines energieeffizienteren Verhaltens im privaten Wohnbereich.

3.3.1 Elemente und Mechaniken digitaler Spiele

Digitale Spiele sind Spiele die auf einem Computersystem gespielt werden. Zur Beschreibung ihrer Grundelemente gibt es verschiedene Modelle. Eine zeitgemäße Definition liefert Prensky (2007), der eine Unterteilung in sechs Strukturelemente vornimmt: Regeln, Ziele und Objekte, Ergebnisse und Feedback, Konflikt / Wettkampf / Herausforderung / Widerstand, Interaktion und die Repräsentation bzw. Handlung. Eine etwas kompaktere Beschreibung liefert Schell (2008) in dem Buch „The art of game design: a book of lenses.“ in Form der sogenannten „elementaren Tetrade“ (siehe Abbildung 3.3). Die Bestandteile der Tetrade sind: Mechanik, Handlung, Ästhetik und Technologie. Die Spiel-Mechanik umfasst alle Prozeduren und Regeln des Spiels. Insbesondere beschreibt sie den Ablauf und das Ziel des Spiels, sowie Möglichkeiten und Einschränkungen bei der Erreichung der Spielziele. Die Existenz einer Spielmechanik, also eines umfassenden Regelsystems, ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen Medien, da sie dem Spieler umfassende Möglichkeiten der Interaktion bietet. Für die Umsetzung von Spielmechaniken werden entsprechende *Technologien* benötigt, bspw. eine Spielekonsole. Um die Spielmechanik für den Spieler nachvollziehbar zu machen und ihr einen Sinn zu verleihen, wird eine *Handlung* benötigt, welche den Ablauf des Spiels strukturiert. Schließlich ist eine geeignete Darstellung (*Ästhetik*) der Spielinhalte nötig, um Handlung und Mechanik nachvollziehbar zu machen und die Immersion zu fördern.

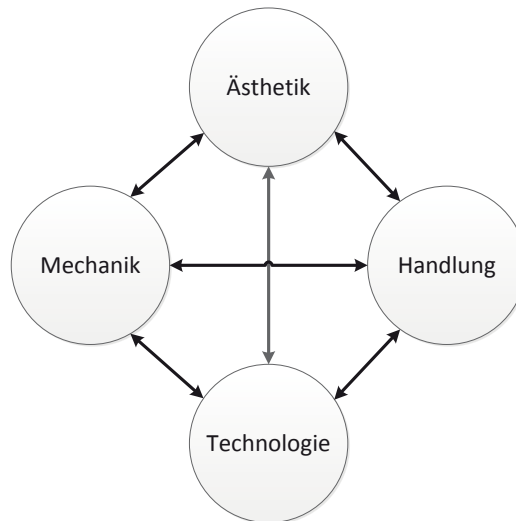


Abbildung 3.3.: Elementare Tetrade nach Jesse Schell (Schell, 2008)

Im Folgenden werden einige ausgewählte Spielmechaniken genauer beleuchtet.

Avatar

Ein Avatar ist ein Spielelement mit direkter Verbindung zum Spieler. Er ist die Repräsentation des Spielers in der Spielwelt. Durch den Avatar kann der Spieler die Spielwelt erkunden. Der Avatar kann im Laufe des Spiels eine Wandlung erfahren und hat oftmals Eigenschaften (Stärke, Geschwindigkeit o.Ä.), welche sich im Spielverlauf verändern.

Regeln

Regeln sind Grundbausteine eines Spiels und unterscheiden das Medium Spiel vom bloßen Spielen (Spiel = „organisiertes Spielen“). Im Rahmen digitaler Spiele können komplexe Regelsysteme umgesetzt werden. Diese geben den Handlungsrahmen des Spielers vor und reichen von fundamentalen Regeln (abstrakte mathematische Regeln) über Anwendungsregeln bis hin zu Verhaltensregeln (Spieletiquette).

Regelsysteme sind in oftmals nicht von Beginn an konzeptionell fehlerfrei und fair. Deshalb ist die Entwicklung eines Regelsystems üblicherweise ein iterativer Prozess bei dem Erkenntnisse aus Feedback-Systemen genutzt werden um die Regeln und damit das Spielerlebnis zu verbessern.

Spielziele, Levels, Challenges und Quests

Die Definition von Spielzielen dient dazu den Spielfortschritt zu messen und dem Spieler Rückmeldungen über Erfolge zu geben. Eine hierarchische Gliederung von Spielzielen kann in Form von Levels erfolgen. Eine weitere Möglichkeit bieten *Challenges* und *Quests*. Challenges sind oftmals als optionale Herausforderungen umgesetzt, wohingegen Quests üblicherweise in einer Handlung verankert sind. Die Definition und Strukturierung von Spielzielen ist ein entscheidender Faktor um die Motivation des Spielers aufrecht zu erhalten.

Scoring und Achievements

Scoring-Systeme sind Metriken zur Bewertung des Spielfortschritts, können aber auch als Feedback-System für Entwickler eingesetzt werden. Scoring-Systeme bilden beispielsweise die Grundlage für die Erstellung von Ranglisten oder können genutzt werden um die Eigenschaften eines Avatars an den Spielfortschritt zu koppeln. *Achievements* (Auszeichnungen) fungieren als Belohnungssysteme mit denen Teilerfolge oder das Erreichen von Spielzielen honoriert werden. Beispielsweise kann das erfolgreiche Absolvieren einer *Challenge* mit einem digitalen Abzeichen (*Badge*) belohnt werden.

Ranglisten

Ranglisten dienen dazu den Erfolg / Fortschritt des Spielers im Vergleich zu anderen darzustellen. Üblicherweise basiert eine solche Rangliste auf einem Scoring-System.

Feedback

Feedback-Systeme werden genutzt um dem Spieler Rückmeldungen über seine Aktionen im Spielkontext zu geben und diese zu bewerten. Ranglisten und Achievements sind Beispiele für spielbezogenes Feedback.

3.3.2 Einflüsse auf das Spielerlebnis

Spiele sind primär dafür entworfen, eine befriedigende Erfahrung zu erschaffen, die aber eine weitere kognitive und emotionale Verarbeitung stimulieren kann (Pagulayan et al., 2002). Die Herausforderung bei der Entwicklung eines zweckgebundenen Spiels, also eines Spiels, welches mit spielerischen Methoden einen übergeordneten Zweck (im vorliegenden Fall Energieeinsparung und positive Verhaltensbeeinflussung) verfolgt, ist es, sich diesen Effekt zunutze zu machen, um den gewünschten Nebeneffekt zu erzielen.

Die Motivation eines Spielers sich langfristig mit einem Spiel auseinanderzusetzen wird durch verschiedene Einflüsse bestimmt. Um das Nutzerverhalten im Rahmen des Forschungsprojekts nachhaltig beeinflussen zu können ist es deshalb wichtig, die im Folgenden beschriebenen Faktoren gezielt zu beeinflussen.

Intrinsische und extrinsische Motivation

Motivation kann intrinsisch oder extrinsisch entstehen. Intrinsische Motivation geht vom Individuum selbst aus (Eigenantrieb). Extrinsische Motivation entsteht durch äußere Anreize. Extrinsische Motivation kann beispielsweise durch die in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Mechanismen erzeugt werden, ist jedoch in der Regel weniger effektiv als intrinsische Motivation.

Engagement

Der Begriff *Engagement* wird in Bezug auf digitale Spiele verwendet um die Bindung des Spielers an das Spiel zu beschreiben. Im Vergleich zur Motivation umfasst das Engagement eher emotionale Komponenten und kann auch als Faszination / Begeisterung für ein Spiel verstanden werden. Im Kontext des Forschungsprojekts kann ein Spieler beispielsweise durch das Spielmotiv (Energieeinsparung im Haushalt) motiviert sein, da er sich finanzielle Einsparungen durch

Energieeinsparungen erhofft. Eine emotionale Bindung an das Spiel entsteht dadurch jedoch nicht zwingend. Diese kann nur durch geschickten Einsatz der in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Mechanismen erzeugt werden.

Immersion

Immersion beschreibt die Verbundenheit des Spielers mit der Spielumgebung, also inwieweit ein Spieler sich als Teil der Spielwelt wahrnimmt (virtuelle Realität).

Flow

Der Begriff *Flow* beschreibt im Kontext digitaler Spiele einen positiven Zustand des Spielers der bspw. aus einer guten Balance zwischen spielerischen Herausforderungen und den Fähigkeiten des Spielers resultiert. Ein solcher Zustand wird als intrinsisch motivierend wahrgenommen.

3.3.3 Spielkategorien und ihre Eignung als Interventionstechnik

Der vorliegende Abschnitt beleuchtet unterschiedliche Spielkategorien und ihre Eignung als Interventionstechnik für die gegebene Zielstellung der Gamifizierung des Energieverbrauchs privater Haushalte.

Kategorien von Spielen

Es existiert eine Vielzahl verschiedener Spielkategorien. Die folgende Auswahl bezieht sich auf die im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersuchten Kategorien.

- Aufbauspiele
- Strategiespiele
- Simulationsspiele
- Rollenspiele und Adventures
- Quizspiele
- Managerspiele

Einsatz von Interventionstechniken in verschiedenen Spielkategorien

Zweckgebundene digitale Spiele nutzen verschiedene Arten von Interventionstechniken (vgl. Abschnitt 3.2.2). Abbildung 3.4 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Techniken. Für deren Umsetzung sind diverse Spielkategorien mehr oder weniger gut geeignet.

In **Aufbauspielen** kann eine Vielzahl von Interventionstechniken eingesetzt werden. Vor allem die Vermittlung von Wissen mit erfahrungsbasiertem Lernen und Lernen aus Fehlern ist hier eine besonders gut einzusetzende Technik, da der Spieler die Konsequenzen falscher Entscheidungen unmittelbar oder auch auf längere Sicht erfährt. In den meisten Fällen kann er diese Entscheidungen nicht rückgängig machen und der Spieler muss sich mit den Konsequenzen arrangieren. Das Übermitteln von Werten sowie die Beeinflussung von Verhalten ist ebenfalls möglich. Allerdings ist hier mit Einschränkungen zu rechnen, da in dieser Spielkategorie oftmals eine

Identifikation in Form eines Vorbildcharakters fehlt und so Empathie nur eingeschränkt transportiert werden kann. **Strategiespiele** sind hinsichtlich der einsetzbaren Interventionstechniken ähnlich zu bewerten wie Aufbauspiele. Die stärkste Abgrenzung zu Aufbauspielen ist der eher kompetitive Aspekt der Spiele. Dadurch kann die Motivation, einen schnellen Erfolg zu erzielen, gesteigert werden. Die Stärke von **Simulationsspielen** ist speziell die Schulung von Fähigkeiten und die Einbindung von Lerninhalten. Ebenso kann das Verhalten in Extremsituationen trainiert werden, auch wenn in einer echten Situation möglicherweise andere Stressfaktoren zum Tragen kommen, welche sich nicht simulieren lassen. **Rollenspiele und Adventures** bieten insbesondere die Möglichkeit, ein starkes Narrativ aufzubauen, wodurch es ermöglicht wird, Empathie zu den Spielcharakteren aufzubauen. Die Stärke dieser Spielkategorie liegt daher insbesondere auf der moralischen Ebene. Es können hier gut mit Hilfe prozeduraler Rhetorik Werte vermittelt werden. **Quizspiele** können am besten dafür eingesetzt werden, deklaratives Wissen zu transportieren und sie können in einen Wettbewerbskontext eingebunden werden. **Managerspiele** bieten die Möglichkeit, Lerninhalte zu vermitteln und bieten im finanziellen und organisatorischen Bereich auch die Möglichkeit, Fähigkeiten zu trainieren.



Abbildung 3.4.: Kategorisierung der Interventionstechniken in digitalen Spielen (Schwöbel, 2015)

4 Entwicklung eines Spielkonzepts für die „Gamifizierung“ des Energieverbrauchs privater Haushalte

Auf Basis der zuvor beschriebenen Grundlagen zum Einsatz digitaler Spiele als Interventionstechnik stellt dieses Kapitel das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Konzept zur Gamifizierung des Energieverbrauchs in Privathaushalten, das SmartER Game (Smart Energy Ranking Game), vor.

4.1 Auswahl der Spielkategorie

Auf Basis der zuvor beschriebenen Grundlagen zum Einsatz digitaler Spiele als Interventionstechnik wurde eine qualitative Analyse zur Auswahl der umzusetzenden Spielkategorie durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Bewertungskriterien der qualitativen Analyse:

- Aufwand der Entwicklung
- Integration relevanter Thematiken
- Vermittlung von Lerninhalten
- Vermittlung von Werten
- Beeinflussung von Verhalten
- Eignung für kooperatives Mehrspielersystem
- Möglichkeit eines asynchronen Spielablaufs

Aus der qualitativen Bewertung geht hervor, dass Aufbauspiele und Managerspiele am besten geeignet wären, um die gewählten Ziele zu erreichen. Der Entwicklungsaufwand bei Managerspielen oder Quizspielen ist vergleichsweise gering. Für solche Spiele sind keine aufwändigen Animationen nötig, sie können mit Webtechnologien und über Formulare realisiert werden. Mit diesen Spieltechniken lässt sich ein vereinfachter Gamification-Ansatz verfolgen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden als Spielkategorien deshalb ein Managerspiel und ein begleitendes Quiz gewählt. Das Quiz wird zusätzlich eingebunden, da es keinen großen Implementierungsaufwand mit sich bringt und sich gut eignet, um Wissen zu vermitteln.

Tabelle 4.1.: Qualitative Einschätzung verschiedener Kategorien bezüglich ihrer Eignung für ein systemintegriertes Smart-Metering Spiel (Schwöbel, 2015)

	Aufwand der Entwicklung	Integration relevanter Thematik	Vermittlung von Lerninhalten	Vermittlung von Werten	Beeinflussung von Verhalten	Eignung für kooperatives Mehrspielersystem	Eignung für asynchronen Spielverlauf	Summe
Aufbauspiel	+/-	+	+	+	+	+/-	+/-	+4
Strategiespiel	-	+/-	+/-	+/-	+	+	-	0
Simulationsspiel	-	+	+	+/-	+	+	-	+2
Rollenspiel / Adventure	-	-	-	+	-	+	-	-3
Quizspiel	+	+/-	+	-	+/-	-	+	+1
Managerspiel	+	+	+/-	+/-	+	+/-	+	+4

4.2 Das Smart Energy Ranking Game

Auf Basis der vorangegangenen Analyse des Problemraums und der Identifikation geeigneter Interventionsmöglichkeiten zur Beeinflussung des Energieverbrauchsverhaltens in privaten Haushalten, wurde das **Smart Energy Ranking Game**, kurz **SmartER Game**, konzipiert. Im Folgenden werden zunächst die gewählten Spielelemente und -mechaniken vorgestellt. Anschließend wird der Spielablauf anhand eines Prozessmodells erläutert und die einzelnen Spiel-Mechanismen genauer beschrieben.

4.2.1 Gewählte Spielelemente und -mechaniken

Abbildung 4.1 stellt die wichtigsten Anwendungsfälle des SmartER Game dar. Durch die Einbindung von Smart Metering Daten (siehe Kapitel 2) sollen die Nutzer die Möglichkeit erhalten, ihren Energieverbrauch zu überwachen (Monitoring). Weiterhin sollen auf Basis der Messdaten, sowie weiterer Nutzereingaben, statistische Auswertungen und Beratungsfunktionen zur Verfü-

gung gestellt werden. Ein weiterer zentraler Anwendungsfall ist der spielerische Wettbewerb mit anderen Haushalten (Gamification).

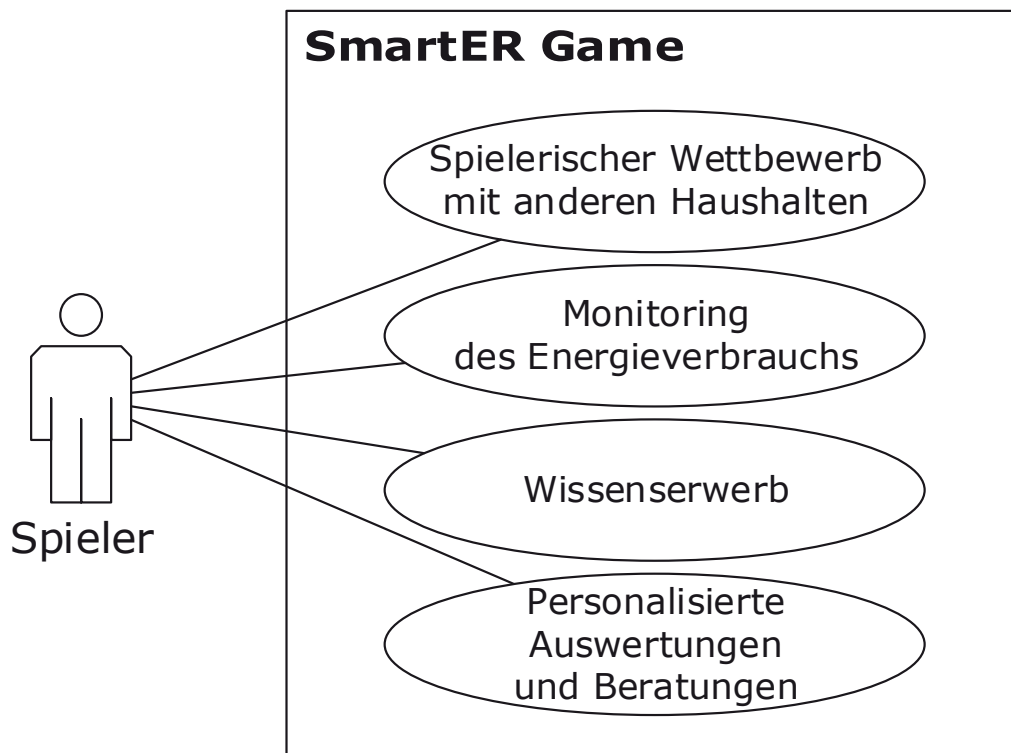


Abbildung 4.1.: Use-Case Diagramm zu den Haupt-Andwendungsfällen des SmartER Game

Spielmechanik

Ein Spieler repräsentiert einen Haushalt. In Anlehnung an das Konzept eines Managerspiels, wurde als zentrales spielerisches Element des SmartER Games ein Avatar gewählt, welchen der Spieler verwaltet. Der Avatar dient der Repräsentation des Spielers und besitzt Eigenschaften die das Energieverbrauchsverhalten des Spielers widerspiegeln. Als Narrativ wurde ein „**Energie-Kamel**“ gewählt, da die Form der Kamel-Höcker entfernt an einen typischen Lastgang mit Phasen höheren und niedrigeren Verbrauchs erinnert, und da Kamele bekanntlich in der Lage sind sparsam mit der ihnen zur Verfügung stehenden Energie (Wasser) umzugehen.

Der spielerische Wettbewerb wird durch ein **Haushalts-Ranking** realisiert, welches auf einem speziellen **Scoring-System** basiert. Der grundlegende Ansatz hierbei ist es, nicht den Gesamtverbrauch eines jeden Spielers zu bewerten, sondern den Erfolg bei der Umsetzung von Einsparmaßnahmen. Dieses Vorgehen wurde gewählt um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Haushalte zu erreichen. Als weitere Form des spielerischen Wettbewerbs wurde korrespondierend zum Narrativ des Energie-Kamels ein „**Energie-Rennen**“ (Kamelrennen) umgesetzt. Das Energie-Rennen ist ein wöchentlich stattfindender Wettbewerb bei welchem jeweils bis zu 5 Avatare gegeneinander in einem Rennen antreten. Der Rennerfolg hängt dabei von den Eigenschaften der Avatare und somit indirekt von den Energieeinsparungen der Spieler ab.

Als weitere Elemente kommen **Energie-Challenges** und **Auszeichnungen**, sowie ein **Energie-Quiz** zum Einsatz. Energie-Challenges sind spezielle Energieeinsparungsziele die innerhalb va-

rierender Zeiträume durch den Spieler erreicht werden sollen. Die Challenges sollen einerseits für Abwechslung sorgen und bieten den Spielern weiterhin die Möglichkeit zusätzliche Score-Punkte für das Ranking zu erwerben. Auszeichnungen werden als virtuelle Abzeichen für das Erreichen bestimmter Spielziele vergeben. Das Energie-Quiz soll den Wissenserwerb über energiebezogene Themen fördern und so wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, die Motivation für energieeffizientes Verhalten fördern.

Sämtliche Spiel-Mechanismen basieren auf dem **Stromverbrauch** eines Haushalts. Diese Einschränkung wurde gewählt, da thermische Energieverbräuche träger auf Änderungen des Nutzerverhaltens reagieren und weiterhin auch deutlich weniger Einflussmöglichkeiten seitens der Nutzer bestehen. Ebenso wäre eine fraglich, wie das Spielkonzept in den wärmeren Jahreszeiten aufrechterhalten werden könnte, wenn kein oder sehr wenig Heizenergiebedarf besteht.

4.2.2 Prozessmodell des Spielablaufs

Der Spielablauf des SmartER Game ist in zwei Phasen unterteilt, die Benchmark-Phase und die eigentliche Spiel-Phase (siehe Abbildung 4.2). Diese Aufteilung in unterschiedliche Phasen bildet die Grundlage dafür, dass das Scoring-System auf alle Spieler, unabhängig von den Randbedingungen des jeweiligen Haushalts (Größe, Anzahl Bewohner, Gebäudeart), gleichermaßen angewendet werden kann.

Benchmark-Phase

Nachdem sich ein Spieler für das SmartER Game registriert hat und eine SmartER Box installiert wurde, beginnt die Benchmark-Phase. Die Dauer der Benchmark-Phase wird durch den Spiel-Administrator festgelegt und beträgt mindestens eine Woche. Während der Benchmark-Phase stehen dem Spieler keine Spiel-Komponenten (Energie-Kamel, Energie-Rennen, Ranking, Auszeichnungen, Challenges, Quiz) zur Verfügung. Lediglich die Monitoring-Funktionen und statistische Auswertungen sind während dieser Phase verfügbar.

Das Ziel der Benchmark-Phase ist es, charakteristische Verbrauchsdaten eines Haushalts zu erfassen. Konkret bedeutet dies, dass nach Abschluss der Benchmark-Phase die *mittlere Lastaufnahme*, die *Grundlast* und das *Spitzenlast-Verhältnis* für den Zeitraum der Benchmark-Phase bestimmt wird (genauer hierzu in Abschnitt 4.2.4). Diese Werte dienen fortan als persönliche Referenzwerte (Benchmarks) des jeweiligen Spielers.

Grundsätzlich ist es sinnvoll die Benchmark-Phase länger als eine Woche zu wählen, da sonst fraglich ist, ob die ermittelten Benchmark-Werte tatsächlich charakteristische Verbrauchsparameter des betrachteten Haushalts abbilden.

Spiel-Phase

In der Spiel-Phase stehen alle Funktionen des Spiels zur Verfügung. Es erfolgt eine wöchentliche Berechnung des Scores eines Spielers sowie aller weiteren Spiel-Parameter. Hierfür werden die zuvor gespeicherten Benchmark-Werte mit den korrespondierenden Werten der jeweils zurückliegenden Woche verglichen. Genauer hierzu in Abschnitt 4.2.4.

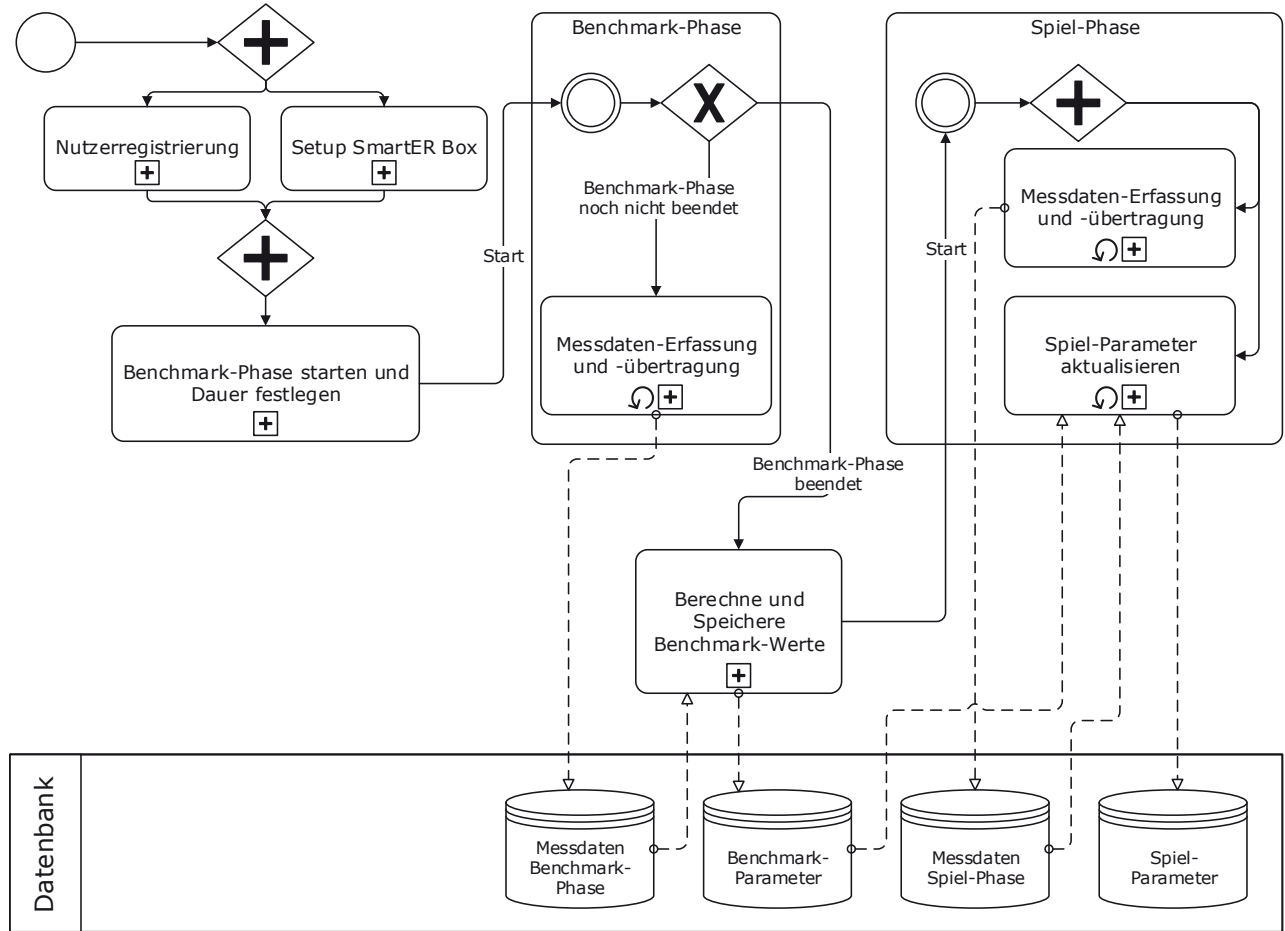


Abbildung 4.2.: Prozessmodell des Spielablaufs im SmartER Game nach Business Process Model and Notation Specification (BPMN 2.0.1 - ISO/IEC 19510:2013)

4.2.3 Benchmark-Parameter

Nach Abschluss der Benchmark-Phase werden die folgenden drei Parameter berechnet:

- P_{Avg} : Mittlere Lastaufnahme [kW]
- P_{Base} : Grundlast [kW]
- R_{Peak} : Spitzenlast-Verhältnis [-]

Mittlere Lastaufnahme P_{Avg}

$$P_{Avg} = \frac{1}{T_{Bench}} \cdot \sum_{i=1}^n E_i \quad (4.1)$$

Dabei ist T_{Bench} die Dauer der Benchmark-Phase in Stunden, E_i der gemessene Verbrauch im Messintervall i in Kilowattstunden und n die Anzahl der Messintervalle in T_{Bench} .

Grundlast P_{Base}

$$P_{Base} = \frac{\overline{M_{Q_{0,1}}}}{1h} \quad (4.2)$$

mit

$$M_{Q_{0,1}} = \{x | x \in M_{T_{Bench}} \wedge x \leq Q_{0,1}(M_{T_{Bench}})\}$$

$$M_{T_{Bench}} = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$$

Dabei ist $M_{T_{Bench}}$ die Menge aller Stromverbrauchs-Messdaten der Benchmark-Phase, $Q_{0,1}(M_{T_{Bench}})$ das 10 %-Quantil der Benchmark-Messwerte, $M_{Q_{0,1}}$ die Menge aller Messwerte die kleiner oder gleich dem 10 %-Quantil sind und $\overline{M_{Q_{0,1}}}$ der Mittelwert dieser Werte in Kilowattstunden.

Einfacher ausgedrückt: Aus den Werten der kleinsten 10 % aller Messdaten wird die mittlere Last bestimmt, dieser Wert wird im Rahmen des Spielkonzepts als Grundlast bezeichnet.

Spitzenlast-Verhältnis R_{Peak}

$$R_{Peak} = \frac{P_{Avg}}{P_{Max}} \quad (4.3)$$

mit

$$P_{Max} = \frac{\overline{M_{Q_{0,9}}}}{1h}$$

$$M_{Q_{0,9}} = \{x | x \in M_{T_{Bench}} \wedge x \geq Q_{0,9}(M_{T_{Bench}})\}$$

$$M_{T_{Bench}} = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$$

Dabei ist $Q_{0,9}(M_{T_{Bench}})$ das 90 %-Quantil der Benchmark-Messwerte, $M_{Q_{0,9}}$ die Menge aller Messwerte die größer oder gleich dem 90 %-Quantil sind und $\overline{M_{Q_{0,9}}}$ der Mittelwert dieser Werte in Kilowattstunden.

Zunächst wird also die mittlere Last aller Messwerte bestimmt, welche zu den oberen 10 % aller Messwerte der Benchmark-Phase gehören. Dieser Wert wird als (mittlere) Spitzenlast bezeichnet. Das Verhältnis der mittleren Last zur Spitzenlast ist das Spitzenlast-Verhältnis. Dieses kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Ein Spitzenlast-Verhältnis von 1 würde bedeuten, dass ein konstanter Verbrauch vorliegt. Ein sehr niedriger Wert hingegen drückt aus, dass die maximalen Lastaufnahmen in einem betrachteten Zeitraum deutlich höher sind, als die mittlere Lastaufnahmen (große Ausschläge in der Lastkurve).

Abbildung 4.3 stellt die drei beschriebenen Parameter vereinfacht dar.

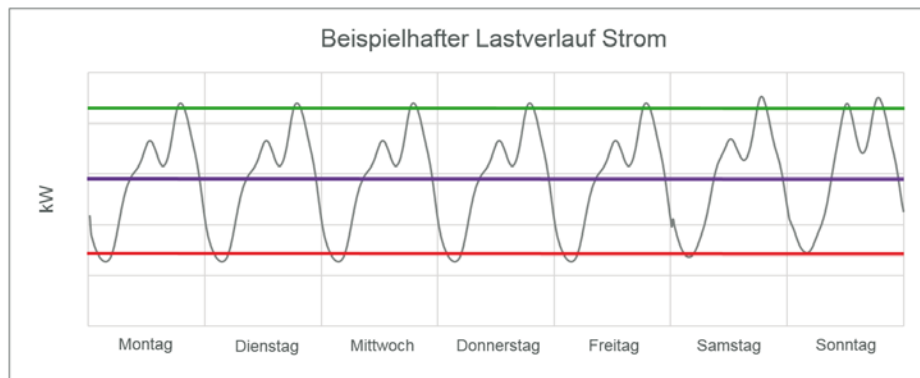


Abbildung 4.3.: Schematische Darstellung der Herleitung der Benchmark-Parameter; Grüne Linie: Spitzenlast; Violette Linie: Mittlere Last; Rote Linie: Grundlast; Das Verhältnis aus violetter zu grüner Linie ist das Spitzenlast-Verhältnis

4.2.4 Scoring-System

Das Scoring-System bildet die Grundlage für das Ranking und kann somit als ein zentraler Spielmechanismus verstanden werden. Primäres Ziel des Scoring-Systems ist es eine Vergleichbarkeit zwischen den Spielern herzustellen und ein objektives Maß für die Bewertung des Energieverbrauchs zu bilden. Um diese Ziele zu erreichen wurde die zuvor erläuterte Aufteilung in zwei Spielphasen vorgenommen und es werden Benchmark-Parameter berechnet.

Anstatt den Gesamtverbrauch eines Haushalts zu bewerten, wird die individuelle, prozentuale Einsparung verglichen mit der Benchmark-Phase bewertet. Würde der Gesamtverbrauch bewertet werden, wäre es sehr schwierig, Haushalte unterschiedlicher Größe miteinander zu vergleichen. Der Verbrauch einer 40 m² Single-Wohnung wäre bspw. immer deutlich geringer als der Verbrauch eines 200 m² Einfamilienhauses einer vierköpfigen Familie.

Die Berechnung des Scores (Punktzahl im Ranking) basiert auf einem wöchentlichen Vergleich der mittleren Lastaufnahme einer Woche mit der mittleren Lastaufnahme der Benchmark-Phase. Die Berechnung erfolgt in der Nacht von Sonntag auf Montag. Ist die mittlere Lastaufnahme im Betrachtungszeitraum (zurückliegende Woche) geringer als in der Benchmark-Phase, so erhöht sich der Score. Andernfalls wird der Score reduziert. Um langfristige Einsparungen zu fördern wird ein Bonus-Faktor berechnet, mit welchem der Score multipliziert wird. Wenn mehrere Wochen in Folge eine geringere mittlere Lastaufnahme als in der Benchmark-Phase erzielt wird, steigt der Bonus-Faktor. Wird wieder mehr verbraucht, sinkt der Bonus-Faktor, er kann jedoch nicht kleiner als 1,0 sein.

Der Grund für die Berechnung des Scores in wöchentlichen Zyklen ist, dass auf diese Weise permanente Schwankungen im Score und somit im Ranking vermieden werden. Weiterhin ist der Stromverbrauch auch vom Wochentag abhängig, vor allem an Wochenenden wird üblicherweise deutlich mehr verbraucht. Ein Berechnungs-Zyklus von einer Woche wird deshalb als sinnvoll angesehen, da die dabei ermittelte mittlere Lastaufnahme repräsentativer ist als einzelne Tage oder Stunden zu betrachten.

Da ein Haushalt, welcher bereits in der Benchmark-Phase einen vergleichsweise geringen Verbrauch hat, weniger Einsparpotential aufweist, als ein Haushalt, der einen relativ hohen Verbrauch hatte, wird nach Ablauf der Benchmark-Phase zunächst ein Start-Score berechnet. Für

die Berechnung des Start-Scores wird auf Basis der mittleren Lastaufnahme der Benchmark-Phase ein theoretischer Jahresstromverbrauch berechnet. Dieser wird anhand charakteristischer Haushaltseigenschaften (Gebäudetyp, Anzahl Bewohner, Elektrische Warmwasserbereitung) mit den Referenzwerten des deutschen Stromspiegels (BMUB, 2016) verglichen (siehe Abbildung 4.5). Somit erhält ein bereits sparsamer Haushalt einen höheren Start-Score als ein weniger sparsamer Haushalt. Der Start-Score kann Werte zwischen 0 und 100 annehmen.

Das beschriebene Vorgehen ist im Folgenden nochmals anhand einer konkreten Formel dargestellt und ebenfalls schematisch in Abbildung 4.4 visualisiert.

Score S

$$S = S_S + \left[\sum_{i=1}^n S_i \right] \cdot B \quad (4.4)$$

Hier ist S_S der Start-Score, S_i der Score einer einzelnen Woche der Spiel-Phase und B der Bonus-Faktor.

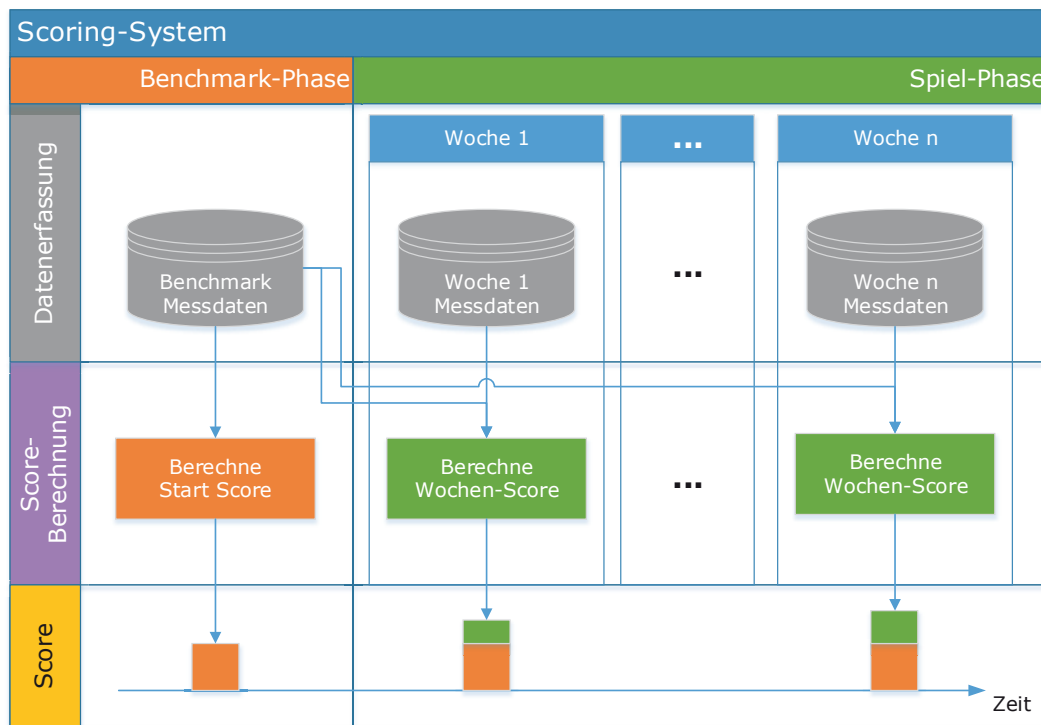


Abbildung 4.4.: Schematische Darstellung Scoring-Systems im SmartER Game

Abgesehen von der hier beschriebenen Berechnung gibt es im Rahmen des Spielkonzepts noch weitere Möglichkeiten um Score-Punkte zu erlangen und somit im Ranking aufzusteigen. Weitere Möglichkeiten Score-Punkte zu erlangen sind:

- Während eines Energie-Rennens einen der ersten 3 Plätze erreichen
- Eine Auszeichnung freischalten
- Eine Energie-Challenge erfolgreich beenden

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			Gering Sehr hoch						
			A	B	C	D	E	F	G
Ein- oder Zweifamilienhaus	ohne Strom		bis 1.500	bis 2.100	bis 2.700	bis 3.200	bis 3.500	bis 4.200	über 4.200
			bis 2.100	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.300	bis 3.800	bis 4.500	über 4.500
			bis 2.600	bis 3.200	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.500	über 5.500
			bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
			bis 3.500	bis 4.300	bis 5.000	bis 5.500	bis 6.500	bis 8.000	über 8.000
	mit Strom		bis 1.800	bis 2.400	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.300	bis 6.000	über 6.000
			bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.700	bis 6.500	über 6.500
			bis 3.200	bis 4.000	bis 4.400	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500
Wohnung im Mehrfamilienhaus	ohne Strom		bis 800	bis 1.100	bis 1.300	bis 1.500	bis 1.900	bis 2.500	über 2.500
			bis 1.300	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.200	über 3.200
			bis 1.800	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	über 4.000
			bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.400	bis 4.000	bis 4.600	über 4.600
			bis 2.400	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.200	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
	mit Strom		bis 1.200	bis 1.500	bis 1.900	bis 2.100	bis 2.600	bis 3.400	über 3.400
			bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.200	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
			bis 2.700	bis 3.400	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000

Abbildung 4.5.: Deutscher Stromspiegel 2016 (BMUB, 2016)

4.2.5 Ranking

Das Ranking dient dem Vergleich des eigenen Energieverbrauchsverhaltens und der persönlichen Einsparungserfolge mit anderen Spielern / Haushalten. Die Reihenfolge des Rankings basiert auf dem Score der Spieler. Der Spieler mit dem höchsten Score belegt den 1. Platz im Ranking.

4.2.6 Energie-Kamel

Das Energie-Kamel ist der Avatar eines Spielers und repräsentiert dessen Einsparungserfolge.

Das Energie-Kamel besitzt folgende **primäre Eigenschaften**:

- K_S : **Stärke**
- K_G : **Gewicht**
- K_L : **Luftwiderstand**
- K_M : **Motivation**

Weitere **sekundäre Eigenschaften** sind *Höchstgeschwindigkeit*, *Beschleunigung* und *Ausdauer*.

Die Eigenschaften des Avatars werden, vergleichbar mit dem Score, wöchentlich, in der Nacht von Sonntag auf Montag, berechnet. Dabei korrespondieren die Eigenschaften *Stärke*, *Gewicht* und *Luftwiderstand* zu der relativen Änderung der drei Lastparametern P_{Avg} , P_{Base} und R_{Peak} . Bei erstmaliger Berechnung wird ein Basis-Wert der Eigenschaften in Abhängigkeit des Start-Scores

bestimmt. Die Eigenschaft *Motivation* korrespondiert zu der Häufigkeit des Einloggens eines Spielers in das Webportal, auch hier wird immer nur die zurückliegende Woche betrachtet. Die Sekundären Eigenschaften werden aus den primären Eigenschaften abgeleitet und dienen zur Animation des Energie-Rennens.

Stärke K_S

Die Stärke des Energie-Kamels korrespondiert zur Veränderung der mittleren Lastaufnahme P_{Avg} innerhalb der betrachteten Woche, verglichen mit dem Wert der Benchmark-Phase. Wurde im Betrachtungszeitraum eine geringere mittlere Lastaufnahme erzielt, steigt die Stärke, andernfalls wird sie verringert. Eine hohe Stärke ist wünschenswert und macht das Kamel „schneller“. Die Veränderung der Stärke wurde mit einer Exponentialfunktion modelliert (Abbildung 4.6). Bei einer geringen Stärke gibt es stärkere Zuwächse als bei einer hohen Stärke. Dies soll gerade zu Beginn motivierend wirken, aber auch ein zu starkes Auseinanderdriften der Spieler in Bezug auf das Energie-Rennen verhindern.

$$K_S(i) = \begin{cases} 500 + 1350 \cdot (S_S/100), & \text{für } i = 1 \\ F_S(K_S(i-1)), & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.5)$$

$K_S(i)$: Stärke-Wert für Woche i

$F_S(x)$: Exponentialfunktion zur Berechnung des neuen Stärke-Werts

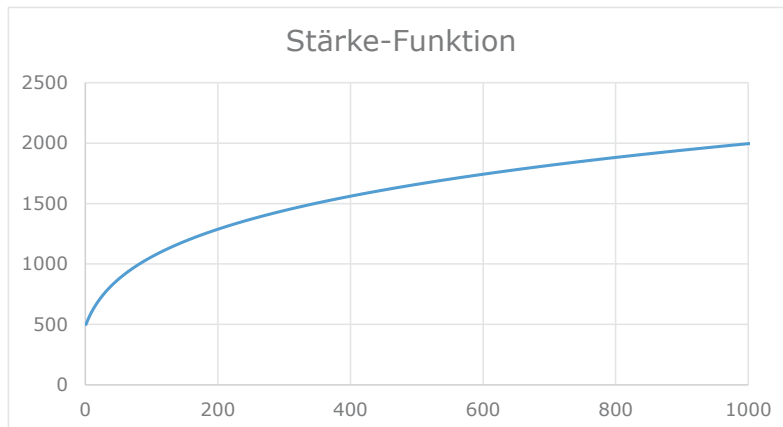


Abbildung 4.6.: $F_S(x)$: Funktion der Stärke-Entwicklung

Die oben dargestellte Formel zeigt die Berechnung der Stärke. In der ersten Woche ($i = 1$) wird ein Basiswert berechnet. Ansonsten wird der Stärke-Wert der vorhergehenden Woche entweder erhöht oder verringert. Diese Veränderung hängt von der mittleren Lastaufnahme in der betrachteten Woche ab. Beispiel: Eine um 5 % geringere mittlere Lastaufnahme im Vergleich zum Benchmark-Wert bedeutet eine 5-prozentige Erhöhung des x-Werts der in Abbildung 4.6 dargestellten Funktion und somit eine entsprechende Erhöhung der Stärke. Die Stärke kann dabei nicht unter einen Wert von 500 sinken.

Gewicht K_G

Das Gewicht des Energie-Kamels korrespondiert zur Veränderung der Grundlast P_{Base} innerhalb der betrachteten Woche, verglichen mit dem Wert der Benchmark-Phase. Wurde im Betrachtungszeitraum eine geringere Grundlast erzielt, sinkt das Gewicht, andernfalls wird es erhöht. Ein geringes Gewicht ist wünschenswert und macht das Kamel „schneller“. Die Veränderung des Gewichts wurde mit einer Exponentialfunktion modelliert (Abbildung 4.7). Bei einem hohen Gewicht gibt es stärkere Veränderungen als bei einem niedrigen Gewicht. Dies soll gerade zu Beginn motivierend wirken, aber auch ein zu starkes Auseinanderdriften der Spieler in Bezug auf das Energie-Rennen verhindern.

$$K_G(i) = \begin{cases} 800 - 450 \cdot (S_S/100), & \text{für } i = 1 \\ F_G(K_G(i-1)), & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.6)$$

$K_G(i)$: Gewichts-Wert für Woche i

$F_G(x)$: Exponentialfunktion zur Berechnung des neuen Gewichts-Werts

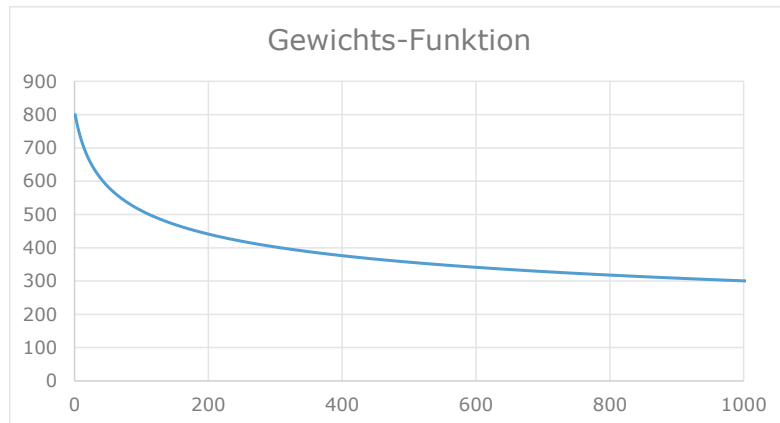


Abbildung 4.7.: $F_G(x)$: Funktion der Gewichts-Entwicklung

Die oben dargestellte Formel zeigt die Berechnung des Gewichts. In der ersten Woche ($i = 1$) wird ein Basiswert berechnet. Ansonsten wird der Gewichts-Wert der vorhergehenden Woche entweder erhöht oder verringert. Diese Veränderung hängt von der Grundlast in der betrachteten Woche ab. Beispiel: Eine um 5 % geringere Grundlast im Vergleich zum Benchmark-Wert bedeutet eine 5-prozentige Erhöhung des x-Werts der in Abbildung 4.7 dargestellten Funktion und somit eine entsprechende Senkung des Gewichts. Das Gewicht kann dabei nicht über einen Wert von 800 steigen.

Luftwiderstand K_L

Der Luftwiderstand des Energie-Kamels korrespondiert zur Veränderung des Spitzenlast-Verhältnisses R_{Peak} innerhalb der betrachteten Woche, verglichen mit dem Wert der Benchmark-Phase. Wurde im Betrachtungszeitraum ein niedrigeres Spitzenlast-Verhältnis erzielt, sinkt der Luftwiderstand, andernfalls wird er erhöht. Ein geringer Luftwiderstand ist wünschenswert und

macht das Kamel „schneller“. Die Veränderung des Luftwiderstands wurde mit einer Exponentialfunktion modelliert (Abbildung 4.8). Bei einem hohen Luftwiderstand gibt es stärkere Veränderungen als bei einem niedrigen Luftwiderstand. Dies soll gerade zu Beginn motivierend wirken, aber auch ein zu starkes Auseinanderdriften der Spieler in Bezug auf das Energie-Rennen verhindern.

$$K_L(i) = \begin{cases} 3 - 1,8 \cdot (S_s/100), & \text{für } i = 1 \\ F_L(K_L(i-1)), & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.7)$$

$K_L(i)$: Luftwiderstands-Wert für Woche i

$F_L(x)$: Exponentialfunktion zur Berechnung des neuen Luftwiderstands-Werts

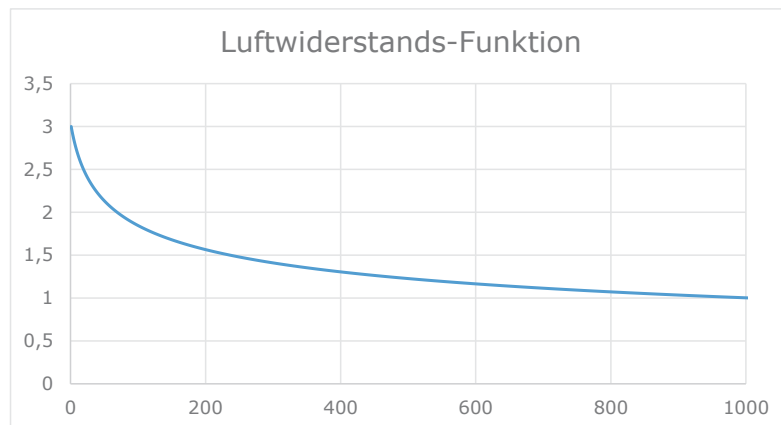


Abbildung 4.8.: $F_L(x)$: Funktion der Luftwiderstands-Entwicklung

Die oben dargestellte Formel zeigt die Berechnung des Luftwiderstands. In der ersten Woche ($i = 1$) wird ein Basiswert berechnet. Ansonsten wird der Luftwiderstands-Wert der vorhergehenden Woche entweder erhöht oder verringert. Diese Veränderung hängt von dem Spitzenlast-Verhältnis in der betrachteten Woche ab. Beispiel: Ein um 5 % geringeres Spitzenlast-Verhältnis im Vergleich zum Benchmark-Wert bedeutet eine 5-prozentige Verringerung des x-Werts der in Abbildung 4.8 dargestellten Funktion und somit eine entsprechende Erhöhung des Luftwiderstands. Der Luftwiderstand kann dabei nicht über einen Wert von 3 steigen.

Motivation K_M

Für die Motivations-Berechnung wird die Häufigkeit des Anmeldens eines Spielers im Webportal innerhalb einer Woche gezählt. Pro Tag gibt es einen „Punkt“. 7 Punkte bedeuten eine Motivation von 100 % und 0 Punkte eine Motivation von 0 %. Die Veränderung der Motivation erfolgt linear. Die Motivations-Eigenschaft soll die regelmäßige Auseinandersetzung mit dem Webportal belohnen und einen Energieverbrauchs-unabhängigen Faktor zur Beeinflussung der Avatar-Eigenschaften anbieten.

4.2.7 Energie-Rennen

Das Energie-Rennen kann als spezielle Form eines Rankings gesehen werden. Bei einem Energie-Rennen treten bis zu 5 Energie-Kamele gegeneinander in einem „Kamelrennen“ an. Dabei hängt

der Erfolg eines Energie-Kamels im Rennen von seinen sekundären Eigenschaften (Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigung und Ausdauer) ab. Diese wiederum werden aus den primären Eigenschaften (Stärke, Gewicht, Luftwiderstand, Motivation) abgeleitet. Demzufolge hat ein Spieler größere Chancen zu gewinnen, wenn er bezüglich der Lastparameter P_{Avg} , P_{Base} und R_{Peak} Verbesserungen im Vergleich zu Benchmark-Phase erzielt hat.

Die Berechnung des Energie-Rennens erfolgt wöchentlich im Anschluss an die Score-Berechnung und die Berechnung der Avatar-Eigenschaften aller Spieler.

4.2.8 Energie-Quiz

Das Energie-Quiz soll den Spielern die Möglichkeit geben ihr Wissen über alltägliche oder auch speziellere, energiebezogene Themen zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern. Das Energie-Quiz wurde als Multiple-Choice-Quiz mit jeweils drei Antwortmöglichkeiten umgesetzt, wobei jeweils nur eine korrekt ist. Im Rahmen der Spielentwicklung wurden mehr als 50 Fragen zusammengetragen, auf deren Auflistung an dieser Stelle verzichtet wird. Für das Spielen des Energie-Quiz werden keine Score-Punkte vergeben. Nach der Beantwortung einer Frage bekommt der Spieler Feedback zur gegebenen Antwort. War die Antwort falsch, werden die korrekte Antwort angezeigt und weitere Hintergrundinformationen eingeblendet. Das Quiz kann auch mehrfach gespielt werden.

4.2.9 Energie-Challenges

Energie-Challenges sind spezielle Herausforderungen die an die Spieler gestellt werden. Eine Challenge hat einen festen Zeitraum in welchem sie erfolgreich absolviert werden muss. Wurde sie erfolgreich abgeschlossen erhält der Spieler Score-Punkte und gegebenenfalls eine neue Auszeichnung (siehe Abschnitt 4.2.10). Challenges können sich auch wiederholen.

Ein Beispiel für eine Energie-Challenge:

„Verbrauche 2 Prozent weniger Strom im Vergleich zur letzten Woche.“

4.2.10 Auszeichnungen

Auszeichnungen sind virtuelle Belohnungen für das Erreichen von Spielzielen. Diese Spielziele können sich beispielsweise auf das Erreichen einer bestimmten Score-Zahl beziehen oder auf Eigenschaften des Energie-Kamels. Auszeichnungen werden auch für das erfolgreiche Absolvieren von Energie-Challenges vergeben. Das Freischalten einer Auszeichnung ist mit dem Gewinn zusätzlicher Score-Punkte verbunden. In Abschnitt 5.4.12 sind Beispiele für einige der erreichbaren Auszeichnungen dargestellt. In vielen Fällen können für eine Auszeichnung mehrere Stufen erreicht werden. Dabei sind höhere Stufen schwerer zu erreichen als niedrigere. Der Zweck dieses Spiel-Elements ist es, den Spielern kleine Erfolgserlebnisse zu verschaffen und für Abwechslung zu sorgen. Da aber im Rahmen des Webportals auch die Möglichkeit besteht, die Auszeichnungen anderer Spieler einzusehen, wird zusätzlich ein weiterer Wettbewerbsfaktor geschaffen.

4.2.11 Monitoring- und Beratungskomponenten

Im Rahmen des Webportals wurden verschiedene Monitoring- und Beratungskomponenten umgesetzt. Diese sind zwar nicht direkt Teil des Spielkonzepts, aber sie spielen eine wichtige Rolle bei der Wissensvermittlung und bilden somit eine Grundlage für die Motivation zur Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen. Die verschiedenen Komponenten werden im Folgenden kurz erläutert, für weitere Informationen sei auf die Abschnitte 5.4.4 bis 5.4.7 verwiesen.

Monitoring des Stromverbrauchs

Es werden die Messdaten des aktuellen Tages, der aktuellen Woche, des laufenden Monats und seit Jahresbeginn angezeigt.

Statistiken zum Stromverbrauch

Hier erfolgt eine Bewertung anhand des Stromspiegels. Weiterhin werden statistische Auswertungen bereitgestellt. Beispielsweise werden die Verbrauchskurven der beiden Tage mit dem bisher höchsten und dem niedrigsten Verbrauch angezeigt, dies ermöglicht es dem Nutzer Rückschlüsse zu ziehen, woraus ein besonders hoher oder niedriger Verbrauch resultieren könnte. Weiterhin werden Auswertungen der Nutzereingaben vorgenommen. Teil des Konzepts des Webportals ist es, neben grundlegenden Informationen zum Haushaltstyp, auch Informationen über vorhandene Haushaltsgeräte abzufragen (siehe Abschnitt 5.1.1). Anhand der durch den Nutzer eingegebenen Informationen zu vorhandenen Haushaltsgeräten und deren Betriebszeiten, erfolgt eine Abschätzung des Jahresverbrauchs jedes Geräts. Dadurch wird es möglich beispielsweise auszuwerten, welchen Anteil ein bestimmtes Gerät am Jahresstromverbrauch hat.

Einsparpotentiale von Geräten

Basierend auf den Nutzereingaben, sofern durch den Nutzer getätigt, wird für alle Haushaltsgeräte der jeweilige Jahresverbrauch abgeschätzt. Dieser wird einem optimierten Referenz-Verbrauch gegenübergestellt, um das Einsparungspotential sowohl energetisch als auch finanziell zu verdeutlichen. Die Berechnung des Referenz-Verbrauchs basiert auf im Rahmen dieses Forschungsprojekts durchgeführten umfangreichen Recherchen und betrachtet jeweils das gleiche Gerät unter den besten Bedingungen und der bestmöglichen Bedienung. Dies bedeutet zum Beispiel, dass für das Referenz-Gerät die beste Energieeffizienzklasse und ein Trennen vom Stromkreis bei Nicht-Benutzung angenommen wird. Nutzungszeiten und andere Eigenschaften wie bspw. die Größe des Geräts, werden gemäß der Nutzereingaben beibehalten.

Simulation und Beratung

Teil des Konzepts ist neben dem Aufzeigen von gerätegebundenen Einsparungspotentialen auch das Bereitstellen eines „Energie-Beraters“. Dieser soll einerseits allgemeine Tipps zur Energieeinsparung im Haushalt zur Verfügung stellen und andererseits die Möglichkeit bieten virtuelle Optimierungen durchzuführen. Hierfür werden die optimierbaren Eigenschaften der durch den Nutzer angegebenen Haushaltsgeräte manipulierbar zur Verfügung gestellt. Der Nutzer kann also bspw. den Austausch eines Kühlschranks durch eine effizientere Geräteklasse und den Wechsel aller Glühbirnen auf LED-Lampen simulieren und so verschiedene Maßnahmen virtuelle ausprobieren.

5 Das SmartER Game Webportal

Dieses Kapitel stellt das auf Basis des in Kapitel 4 beschriebenen Spielkonzepts umgesetzte Webportal vor. Zunächst wird die Systemarchitektur beschrieben und speziell die Datenmodelle zur Verwaltung von Nutzerdaten und Spiel-Parametern erläutert. Weiterhin werden einige ausgewählte Implementierungen anhand von Quellcode-Beispielen näher beschrieben. Im Anschluss wird die entwickelte Nutzeroberfläche des Webportals anhand von Screenshots vorgestellt.

5.1 Systemarchitektur

Das Webportal wurde als ASP.NET Web-Applikation umgesetzt. Die Basis bildete das Datenmanagement-Portal des Praxispartners. Dieses wurde um die in Abschnitt 5.4 dargestellten Webseiten erweitert. Die Datenhaltung basiert ebenfalls auf dem relationalen Datenbanksystem des Praxispartners. Für die Verwaltung der Nutzer- und Spiel-Daten wurden neue Datenmodelle definiert. Diese werden im Folgenden genauer besprochen. Bei der Darstellung der Datenmodelle erfolgt in Form von Entity Relationship Model Diagrammen (ERM). Ein ERM ist ein Mittel der semantische Datenmodellierung. Demnach sind die dargestellten Objekte und Beziehungen als Grundlage für das umgesetzte relationale Datenbankmodell zu verstehen. Auf eine Darstellung des relationalen Datenbankmodells wird aufgrund dessen Komplexität an dieser Stelle verzichtet.

5.1.1 Datenmodell für Haushalt und Nutzerdaten

Abbildung 5.1 stellt die Datenobjekte Benchmark, Haushalt, Spieler und Lastparameter-Historie in Form eines ERM dar. Das Haushalts-Objekt verwaltet allgemeine Informationen zum Haushalt, wie beispielsweise den Typ (Einfamilienhaus, Reihenhaushalt, Doppelhaushälfte oder Miet-/Eigentumswohnung). Diese Parameter werden z.B. benötigt um eine Einordnung in den Strompreisindex treffen zu können oder das Ranking nach bestimmten Parametern filtern zu können (z.B. nur Einfamilienhäuser mit 2 Bewohnern anzeigen).

Ein Haushalts-Objekt ist immer einem Spieler-Objekt zugeordnet. Das Spieler-Objekt verwaltet den aktuellen Score, den Start-Score, sowie den Nutzernamen und den (optional anzugebenden) Namen des Energie-Kamels.

Das Benchmark-Objekt ist dem Haushalts-Objekt zugeordnet und enthält zunächst die Datumsangaben für den Zeitraum der Benchmark-Phase. Ist diese abgeschlossen werden hier ebenfalls die Benchmark-Parameter gespeichert und um für die wöchentlichen Berechnungen der Spiel-Parameter genutzt werden zu können.

Die wöchentlich berechneten Lastparameter (welche mit den Benchmark-Werten verglichen werden), sind in einem gesonderten Datenobjekt abgelegt, welches ebenfalls dem Haushalts-Objekt zugeordnet ist. Hier werden die Werte jeder Woche gespeichert und ermöglichen so bspw. im späteren Verlauf die Darstellung der Entwicklung der mittleren Lastaufnahme im Laufe der Spiel-Phase.

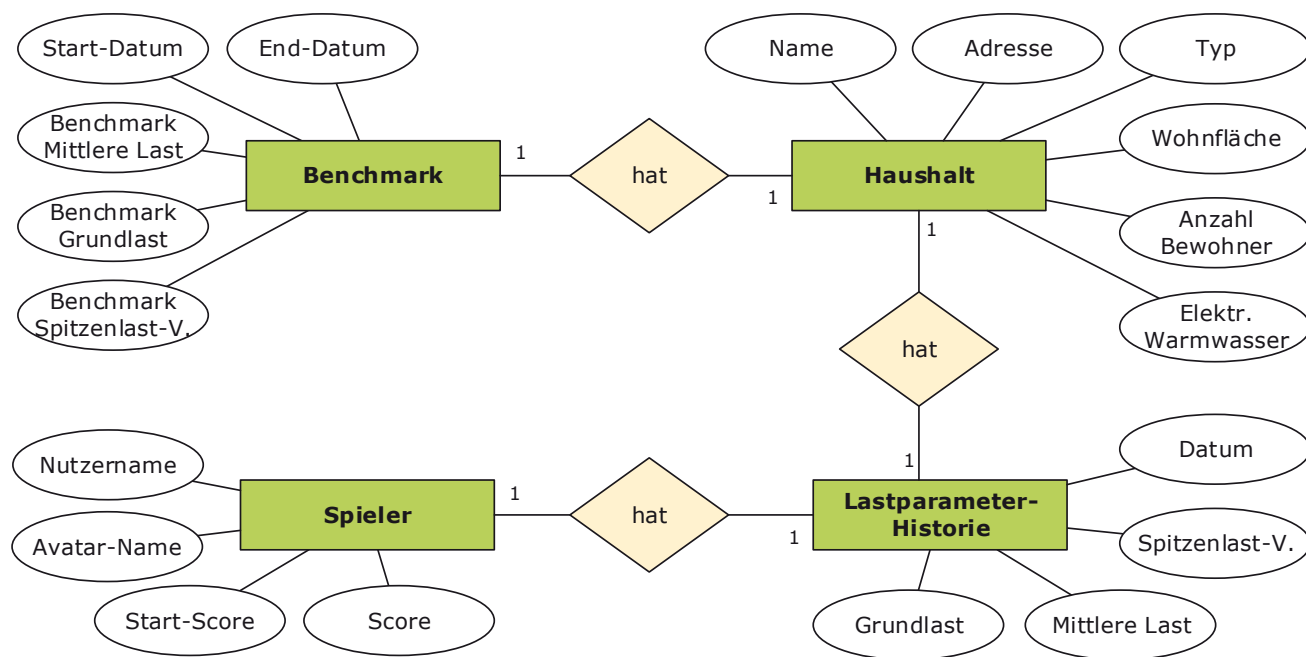


Abbildung 5.1.: Entity Relationship Model für Haushalts-, Benchmark- und Nutzerdaten, sowie Lastparameter, nach Chen-Notation

5.1.2 Datenmodell für Spiel-Elemente

Abbildung 5.2 stellt die Datenobjekte Avatar-Historie, Auszeichnungen, Login-Eintrag, Ranking-Historie, Quiz-Fragen, Spieler und Rennen in Form eines ERM dar.

Im Datenobjekt Avatar-Historie sind die wöchentlich berechneten Eigenschaften des Energie-Kamels eines Spielers gespeichert. Der letzte Eintrag entspricht somit dem aktuellen Zustand des Avatars. Dadurch kann die Entwicklung des Avatars bspw. auf der „Energie-Kamel“-Seite des Webportals (siehe Abschnitt 5.4.9) dargestellt werden.

Das Auszeichnungs-Objekt speichert für jeden Spieler welche Auszeichnungen bereits freigeschaltet wurden und welche Stufe erreicht wurde.

Die Login-Einträge speichern das Einloggen eines Spielers in das Webportal. Dabei wird nur ein Eintrag pro Tag vorgenommen. Dies dient als Grundlage für die Berechnung der Motivation des Energie-Kamels.

Die Ranking-Historie bildet ähnlich der Avatar-Historie die Entwicklung eines Spielers ab. In diesem Fall, zu welchem Zeitpunkt welcher Score und welche Platzierung erreicht wurde. Der aktuellste Eintrag entspricht somit dem Eintrag im aktuellen Ranking auf der „Haushalts-Ranking“-Seite (siehe Abschnitt 5.4.8).

Das Renn-Objekt spiegelt alle durchgeführten Rennen wieder. In einer Linktabelle werden bis zu 5 Spieler einem Rennen zugeordnet. Die Linktabelle speichert auch die Rennergebnisse.

Die Daten für das Energie-Quiz sind ebenfalls in einem eigenen Datenobjekt modelliert. In einer Linktabelle wird gespeichert, welche Fragen ein Spieler bereits beantwortet hat und ob dies korrekt erfolgt ist.

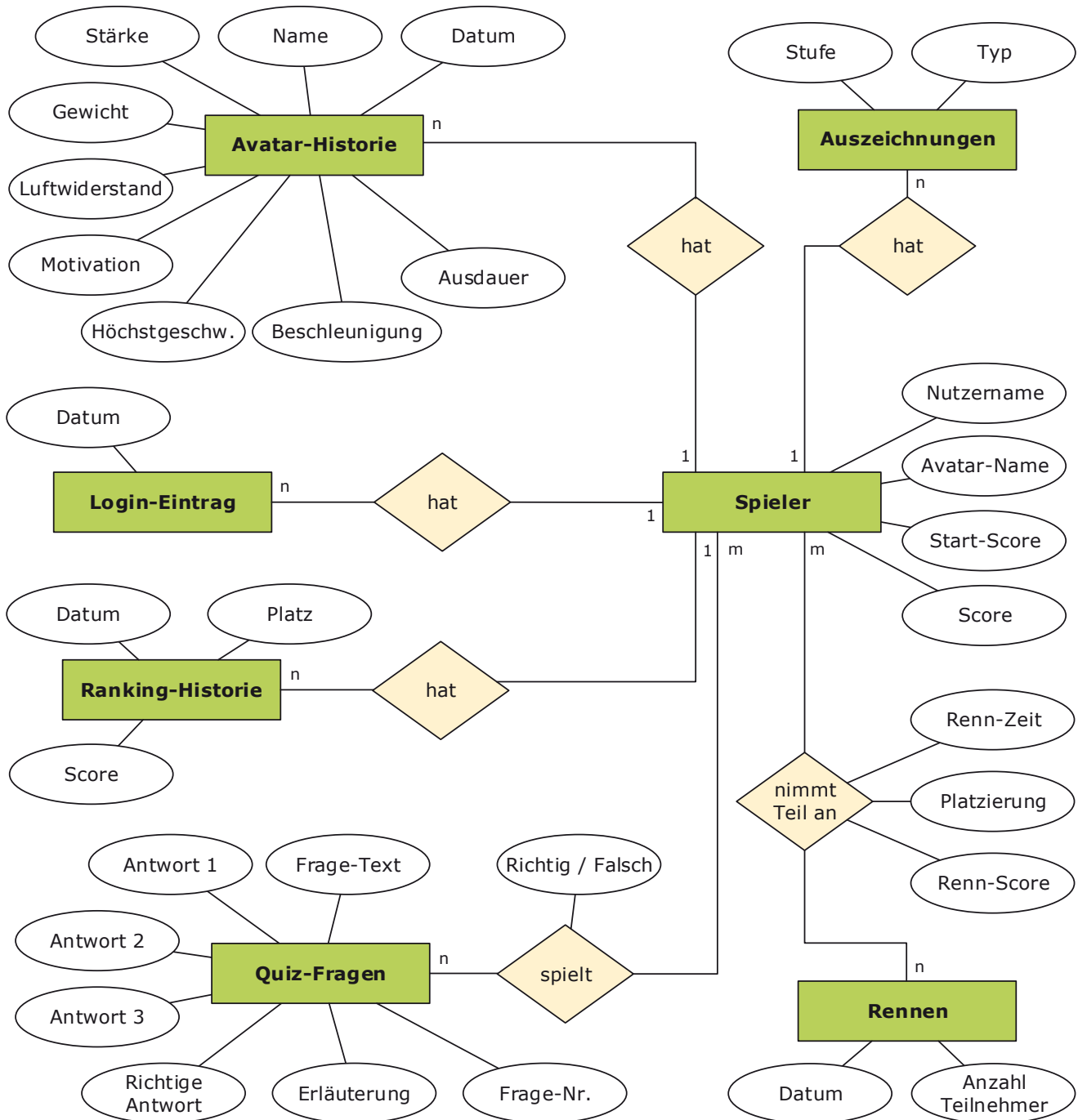


Abbildung 5.2.: Entity Relationship Model für verschiedene Spiel-Komponenten nach Chen-Notation

5.2 Implementierung

In diesem Abschnitt wird die Implementierung einiger ausgewählter Funktionen genauer beleuchtet. Das Webportal wurde als ASP.NET Web-Applikation umgesetzt. Als Programmiersprache kam die .NET-Sprache C# zum Einsatz.

5.2.1 HouseholdInfo- und AvatarInfo-Objekte

Für eine bessere Nachvollziehbarkeit der folgenden Abschnitte sind an dieser Stelle die Definitionen (Klassen) zur Beschreibung eines Haushalts und eines Avatars aufgeführt. Diese Objekte dienen zur Kapselung und zum Austausch von Daten im Rahmen des Programmablaufs.

Quellcode 5.1: HouseholdInfo.cs

```
1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2   * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3   * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6
7  namespace SmartERCore
8  {
9      /// <summary>
10     /// Encapsulates all relevant information about a user account.
11     /// Includes information about household, avatar and benchmark parameters.
12     /// </summary>
13     public class HouseholdInfo
14     {
15         public int Id { get; set; }
16         public int UserId { get; set; }
17         public string Flag { get; set; }
18         public string UserName { get; set; }
19         public int NumberOfPeople { get; set; }
20         public bool ElectricWarmWaterSupply { get; set; }
21         public BuildingType BuildingType { get; set; }
22         public HouseholdType HouseholdType { get; set; }
23         public double LivingArea { get; set; }
24         public string Street { get; set; }
25         public string HouseNumber { get; set; }
26         public string City { get; set; }
27         public string ZipCode { get; set; }
28         public double BenchmarkPowerPeakRatio { get; set; }
29         public double BenchmarkPowerBaseLoad { get; set; }
30         public double BenchmarkPowerAvgLoad { get; set; }
31         public double StartScorePower { get; set; }
32         public double ScorePower { get; set; }
33         public string AvatarName { get; set; }
34         public double AvatarStrength { get; set; }
35         public double AvatarWeight { get; set; }
36         public double AvatarDragCoefficient { get; set; }
37         public double AvatarMotivation { get; set; }
38         public DateTime BenchmarkPowerStart { get; set; }
39         public DateTime BenchmarkPowerEnd { get; set; }
```



```

40     public double AverageLoadCurrent { get; set; }
41     public double BaseLoadCurrent { get; set; }
42     public double PeakRatioCurrent { get; set; }
43 }
44 }

```

Quellcode 5.2: AvatarInfo.cs

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2  * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3  * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6
7  namespace SmartERCore
8  {
9      /// <summary>
10     /// Describes an user avatar.
11     /// </summary>
12     public class AvatarInfo
13     {
14         /// <summary>
15         /// The ID of the user.
16         /// </summary>
17         public int UserId { get; set; }
18
19         /// <summary>
20         /// The name of the user.
21         /// </summary>
22         public string Name { get; set; }
23
24         /// <summary>
25         /// The date for which this data describes the avatar.
26         /// </summary>
27         public DateTime Date { get; set; }
28
29         /// <summary>
30         /// A basic avatar attribute. Describes the weight of the avatar. The value is
31         /// determined based on the power consumption characteristics of the user.
32         /// </summary>
33         public double Weight { get; set; }
34
35         /// <summary>
36         /// A basic avatar attribute. Describes the strength of the avatar. The value is
37         /// determined based on the power consumption characteristics of the user.
38         /// </summary>
39         public double Strength { get; set; }
40
41         /// <summary>
42         /// A basic avatar attribute. Describes the drag coefficient of the avatar. The
43         /// value is determined based on the power consumption characteristics of the
44         /// user.
45         /// </summary>
46         public double DragCoefficient { get; set; }
47     }
48 }

```

```

44     /// <summary>
45     /// A basic avatar attribute. Describes the motivation of the avatar. The value
46     /// is determined by the login frequency of the user.
47     /// </summary>
48     public double Motivation { get; set; }
49
50     /// <summary>
51     /// A race parameter. Describes the top speed of the avatar.
52     /// </summary>
53     public double TopSpeed { get { return SmartEREngine.CptTopSpeed(Strength,
54         Weight, DragCoefficient); } }
55
56     /// <summary>
57     /// A race parameter. Describes the acceleration of the avatar.
58     /// </summary>
59     public double Acceleration { get { return
60         SmartEREngine.CptAcceleration(Strength, Weight); } }
61
62     /// <summary>
63     /// A race parameter. Describes the endurance of the avatar.
64     /// </summary>
65     public double Endurance { get { return SmartEREngine.CptEndurance(Strength,
66         Weight, Motivation); } }
67 }

```

5.2.2 Berechnung der Lastparameter

Die Berechnung der Lastparameter erfolgt in der Klasse `SmartEREngine.cs`. Im Folgenden sind die Methoden für die Berechnung des Spitzenlastverhältnisses, der mittleren Lastaufnahme und der Grundlast dargestellt. Für die Berechnung statistischer Parameter wurde die Bibliothek `Math.NET Numerics` verwendet (<https://numerics.mathdotnet.com/>).

Quellcode 5.3: Berechnung der Lastparameter

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2   * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3   * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6  using System.Collections.Generic;
7  using System.Globalization;
8  using System.Linq;
9  using MathNet.Numerics.Statistics;
10
11  namespace SmartERCore
12  {
13      /// <summary>
14      /// Computes and assembles data for game and visualization content.
15      /// </summary>
16      public class SmartEREngine
17      {
18

```

```

19  /* ... */
20
21  /// <summary>
22  /// Returns the peak ratio for a given list of measurements.
23  /// </summary>
24  /// <param name="dataPoints">A list of data points, each representing a measured
    consumption.</param>
25  /// <returns></returns>
26  public static double GetPeakRatio(List<DataPoint> dataPoints)
27  {
28      // average consumption
29      double avg_con = dataPoints.Average(d => d.Value);
30      // 90%-quantile (i.e. the value which is exceeded by 10% of all values)
31      List<double> values = dataPoints.Select(d => d.Value).ToList();
32      double q90 = Statistics.Quantile(values, 0.90);
33      // all values greater or equal 90%-quantile
34      var q90_con = from d in dataPoints
35                    where d.Value >= q90
36                    select d.Value;
37      // average of all values greater or equal 90%-quantile
38      double avg_q90_con = (q90_con.ToList()).Average();
39      // ratio of average consumption and average of >= 90%-quantile consumption
40      // ratio == 1.0 if consumption is constant (i.e. no peaks) => i.e. a higher
        value is better
41      return avg_con / avg_q90_con;
42  }
43
44  /// <summary>
45  /// Returns the average load for a given list of measurements.
46  /// </summary>
47  /// <param name="dataPoints">A list of data points, each representing a measured
    consumption.</param>
48  /// <param name="interval">The interval of measurements.</param>
49  /// <returns></returns>
50  public static double GetAverageLoad(List<DataPoint> dataPoints)
51  {
52      // average consumption of benchmark phase
53      double avg_con = dataPoints.Average(d => d.Value);
54      // divide by hours to get load [kW]
55      double avergeLoad = avg_con / ((double)dataPoints[0].Interval /
        (double)Interval.Hours);
56      return avergeLoad;
57  }
58
59  /// <summary>
60  /// Returns the base load for a given list of measurements.
61  /// </summary>
62  /// <param name="dataPoints">A list of data points, each representing a measured
    consumption.</param>
63  /// <param name="interval">The interval of measurements.</param>
64  /// <returns></returns>
65  public static double GetBaseLoad(List<DataPoint> dataPoints)
66  {
67      // 10%-quantile (i.e. the value which is exceeded by 90% of all values)
68      List<double> values = dataPoints.Select(d => d.Value).ToList();

```

```

69         double q10 = Statistics.Quantile(values, 0.10);
70         // all values less or equal 10%-quantile
71         var q10_con = from d in dataPoints
72                       where d.Value <= q10
73                       select d.Value;
74         // average of all values less or equal 10%-quantile
75         double avg_q10_con = (q10_con.ToList()).Average();
76         // divide by hours to get load [kW]
77         double baseLoad = avg_q10_con / ((double)dataPoints[0].Interval /
78                                         (double)Interval.Hours);
79         return baseLoad;
80     }
81 }

```

5.2.3 Berechnung des Scores

Die Berechnung des Scores erfolgt in der Klasse `SmartEREngine.cs`. Im Folgenden sind die hierfür implementierten Methoden dargestellt. Die Berechnung basiert auf einer wöchentlichen Bewertung des Stromverbrauchs eines Haushalts in Bezug auf dessen Benchmark-Phase. Sofern der Verbrauch geringer ausfällt wird ein positiver Score vergeben. Um langfristige Einsparungen zu belohnen wird weiterhin ein Bonus-Faktor berechnet, welcher anwächst solange ein Haushalt weniger verbraucht als in der Benchmark-Phase.

Quellcode 5.4: Berechnung des Scores

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2   * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3   * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6  using System.Collections.Generic;
7  using System.Globalization;
8  using System.Linq;
9  using MathNet.Numerics.Statistics;
10
11 namespace SmartERCore
12 {
13     /// <summary>
14     /// Computes and assembles data for game and visualization content.
15     /// </summary>
16     public class SmartEREngine
17     {
18
19         /* ... */
20
21         public const double BONUS = 0.1;
22         public const double MALUS = 0.5;
23
24         /// <summary>
25         /// Returns the current power score for the given household.
26         /// </summary>
27         /// <param name="householdInfo">The HouseholdInfo object.</param>

```

```

28     /// <param name="until">Score will be computed for the data from benchmark end
    date to this date inclusive.</param>
29     /// <returns></returns>
30     public static DataPoint ComputeScorePower(HouseholdInfo householdInfo, DateTime
    until)
31     {
32         List<DataPoint> dataPoints =
            WtDataConnector.GetPowerMeasurementsSinceBenchmark(householdInfo, until);
33         double scorePower = 0.0;
34         /// compute the current score by adding up weekly scores
35         foreach (DataPoint dp in dataPoints)
36         {
37             scorePower += CptWeekScorePower(dp.Value,
                householdInfo.BenchmarkPowerAvgLoad);
38         }
39         double bonusFactorPwr = CptBonusFactorPower(dataPoints,
            householdInfo.BenchmarkPowerAvgLoad);
40         /// multiplying score with bonus to reward long-term energy savings
41         scorePower *= bonusFactorPwr;
42         /// add start score
43         scorePower += householdInfo.StartScorePower;
44         scorePower = scorePower < householdInfo.StartScorePower ?
            householdInfo.StartScorePower : scorePower;
45         /// add ***previous*** scores for race, achievements, challenges
46         scorePower += WtDataConnector.GetRaceScoreSum(householdInfo.UserId);
47         scorePower += WtDataConnector.GetAchievementScoreSum(householdInfo.UserId);
48         scorePower += WtDataConnector.GetChallengeScoreSum(householdInfo.UserId);
49
50         DataSeriesInfo scorePowerDataSeriesInfo =
            WtDataConnector.GetPowerScoreDataSeriesInfo(householdInfo.UserId);
51         return new DataPoint
52         {
53             Date = Util.GetLastSunday(until),
54             Value = scorePower,
55             Unit = dataPoints[0].Unit,
56             Interval = dataPoints[0].Interval
57         };
58     }
59
60     /// <summary>
61     /// Returns the power bonus factor for a given number of weekly consumption
    values and with respect to a benchmark value.
62     /// The bonus factor is accumulated from weekly bonuses which are positive if
    load was decreased and negative if load was increased.
63     /// The bonus factor can not be smaller than 1.
64     /// </summary>
65     /// <param name="weeklyConsumptions">A list of weekly power consumption
    values.</param>
66     /// <param name="benchmarkValue">The average power consumption of the benchmark
    phase.</param>
67     /// <returns></returns>
68     public static double CptBonusFactorPower(List<DataPoint> weeklyConsumptions,
    double benchmarkValue)
69     {
70         double weekScore = 0.0, bonus = 0.0;

```

```

71 // compute the current bonus by adding up weekly bonuses
72 foreach (DataPoint dp in weeklyConsumptions)
73 {
74     weekScore = CptWeekScorePower(dp.Value, benchmarkValue);
75     bonus += CptWeekBonusPower(weekScore);
76     // as there should not be a negative bonus, check and set back to zero if
77     // necessary
78     if (bonus < 0)
79     {
80         bonus = 0.0;
81     }
82 }
83 // bonusFactorPwr
84 return 1 + (bonus / 100.0);
85 }
86
87 /// <summary>
88 /// Returns the power score for a single week with respect to a benchmark value.
89 /// The week score is the percentage increase or reduction of average load of
90 /// the week compared to benchmark load.
91 /// The score is positive if average load of week is lower than the benchmark
92 /// value.
93 /// The score is negative if average load of week is higher than the benchmark
94 /// value.
95 /// </summary>
96 /// <param name="consumption">The power consumption of a week.</param>
97 /// <param name="benchmarkValue">The average power load of the benchmark
98 /// phase.</param>
99 /// <returns></returns>
100 public static double CptWeekScorePower(double consumption, double benchmarkValue)
101 {
102     double avgLoadWeek = consumption / ((double)Interval.Weeks /
103     (double)Interval.Hours);
104     return (benchmarkValue - avgLoadWeek) * 100 / benchmarkValue;
105 }
106
107 /// <summary>
108 /// Returns the bonus for a single week.
109 /// The week bonus is positive if load was reduced compared to the benchmark
110 /// value.
111 /// The week bonus is negative if load was increased compared to the benchmark
112 /// value.
113 /// </summary>
114 /// <param name="weekScore">The power score for a single week.</param>
115 /// <returns></returns>
116 public static double CptWeekBonusPower(double weekScore)
117 {
118     double bonus = 0.0;
119     if (weekScore > 0)
120     {
121         bonus = BONUS * weekScore;
122     }
123     else if (weekScore < 0)
124     {
125         bonus = MALUS * weekScore;
126     }
127 }

```

```

118     }
119     return bonus;
120 }
121 }
122 }

```

5.2.4 Berechnung der Avatar-Eigenschaften

Die Berechnung der Avatar-Eigenschaften erfolgt in der Klasse `SmartEREngine.cs`. Im Folgenden sind die hierfür implementierten Methoden dargestellt. Die Avatar-Eigenschaften werden auf Basis der Lastparameter berechnet (siehe 5.2.2).

Quellcode 5.5: Berechnung der Avatar-Eigenschaften

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2  * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3  * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6  using System.Collections.Generic;
7  using System.Globalization;
8  using System.Linq;
9  using MathNet.Numerics.Statistics;
10
11 namespace SmartERCore
12 {
13     /// <summary>
14     /// Computes and assembles data for game and visualization content.
15     /// </summary>
16     public class SmartEREngine
17     {
18
19         /* ... */
20
21         /// <summary>
22         /// Computes the new avatar attributes based on the given HouseholdInfo object.
23         /// </summary>
24         /// <param name="householdInfo">The HouseholdInfo object.</param>
25         /// <param name="avatarInfo">The current AvatarInfo object.</param>
26         /// <param name="date">The date for which the update should be computed. Note:
27         /// If date.DayOfWeek != DayOfWeek.Sunday it will be set to the last
28         /// Sunday.</param>
29         /// <returns>Returns a new AvatarInfo object.</returns>
30         public static AvatarInfo CptNewAvatarAttributes(HouseholdInfo householdInfo,
31             AvatarInfo avatarInfo, DateTime date)
32         {
33             List<DataPoint> measurements =
34                 WtDataConnector.GetPowerMeasurementsSinceBenchmark(householdInfo, date);
35             List<DataPoint> measurementsLastWeek =
36                 WtDataConnector.GetPowerMeasurements(householdInfo.Id,
37                     Util.GetThisWeeksMonday(date), Util.GetThisWeeksSunday(date));
38             double bonusFactor = CptBonusFactorPower(measurements,
39                 householdInfo.BenchmarkPowerAvgLoad);
40             double avergaeLoadLastWeek = GetAverageLoad(measurementsLastWeek);

```



```

34     double baseLoadLastWeek = GetBaseLoad(measurementsLastWeek);
35     double peakRatioLastWeek = GetPeakRatio(measurementsLastWeek);
36
37     return new AvatarInfo
38     {
39         Name = avatarInfo.Name,
40         Date = date,
41         Strength = CptStrength(averageLoadLastWeek,
42             householdInfo.BenchmarkPowerAvgLoad, bonusFactor,
43             avatarInfo.Strength),
44         Weight = CptWeight(baseLoadLastWeek,
45             householdInfo.BenchmarkPowerBaseLoad, bonusFactor, avatarInfo.Weight),
46         DragCoefficient = CptDragCoefficient(peakRatioLastWeek,
47             householdInfo.BenchmarkPowerPeakRatio, bonusFactor,
48             avatarInfo.DragCoefficient),
49         Motivation = CptMotivation(avatarInfo.UserId, Util.GetLastSunday(date))
50     };
51 }
52
53 /// <summary>
54 /// Computes the strength of the avatar.
55 /// </summary>
56 /// <param name="averageLoadLastWeek">The average power load of a certain
57 /// week.</param>
58 /// <param name="benchmarkAverageLoad">The average power load of the benchmark
59 /// phase.</param>
60 /// <param name="bonusFactor">The bonus factor to reward long-term
61 /// savings.</param>
62 /// <param name="strength">The strength the avatar had before.</param>
63 /// <returns>Returns the new strength of the avatar.</returns>
64 public static double CptStrength(double averageLoadLastWeek, double
65     benchmarkAverageLoad, double bonusFactor, double strength)
66 {
67     // relative change of average load compared to benchmark value
68     // positive if consumption was reduced, otherwise negative
69     double relativeChange = (benchmarkAverageLoad - averageLoadLastWeek) /
70         benchmarkAverageLoad;
71     double strengthY = ((strength - 500.0) / 1500.0) * (F_Strength(1009.0) -
72         F_Strength(1.0)) + F_Strength(1.0);
73     double strengthX = Math.Pow(strengthY, 5.0) - 15.0;
74     // increasing or decreasing strength of the avatar
75     if (relativeChange < 0.0) // mehr verbraucht
76     {
77         strengthX = strengthX * (1.0 + relativeChange);
78     }
79     else if (relativeChange > 0.0) // weniger verbraucht
80     {
81         strengthX = strengthX * (1.0 + relativeChange * (1 + bonusFactor /
82             1000.0));
83     }
84     strengthX = strengthX < -15 ? -15 : strengthX;
85     strength = ((F_Strength(strengthX) - F_Strength(1.0)) / (F_Strength(1009.0)
86         - F_Strength(1.0))) * 1500.0 + 500.0;
87     strength = strength > 5000 ? 5000 : strength;
88     return strength < 500 ? 500 : strength;
89 }

```

```

76     }
77
78     /// <summary>
79     /// Computes the weight of the avatar.
80     /// </summary>
81     /// <param name="baseLoadLastWeek">The base power load of a certain week.</param>
82     /// <param name="benchmarkBaseLoad">The base power load of the benchmark
83     ///   phase.</param>
84     /// <param name="bonusFactor">The bonus factor to reward long-term
85     ///   savings.</param>
86     /// <param name="weight">The weight the avatar had before.</param>
87     /// <returns>Returns the new weight of the avatar.</returns>
88     public static double CptWeight(double baseLoadLastWeek, double
89     benchmarkBaseLoad, double bonusFactor, double weight)
90     {
91         // realtive change of base load compared to benchmark value
92         // positive if base load was reduced, otherwise negative
93         double relativeChange = (benchmarkBaseLoad - baseLoadLastWeek) /
94         benchmarkBaseLoad;
95         double weightY = ((weight - 300.0) / 500.0) * (F_Weight(1.0) -
96         F_Weight(1009.0)) + F_Weight(1009.0);
97         double weightX = Math.Pow(1.0 / weightY, 5.0) - 15.0;
98         // increasing or decreasing weight of the avatar
99         if (relativeChange < 0)
100         {
101             weightX = weightX * (1 + relativeChange);
102         }
103         else if (relativeChange > 0)
104         {
105             weightX = weightX * (1 + relativeChange * (1 + bonusFactor / 1000.0));
106         }
107         weightX = weightX < -15 ? -15 : weightX;
108         weight = ((F_Weight(weightX) - F_Weight(1.0)) / (F_Weight(1.0) -
109         F_Weight(1009.0))) * 500 + 800;
110         weight = weight < 250 ? 250 : weight;
111         return weight > 800 ? 800 : weight;
112     }
113
114     /// <summary>
115     /// Computes the drag coefficient of the avatar.
116     /// </summary>
117     /// <param name="peakRatioLastWeek">The peak ratio of a certain week.</param>
118     /// <param name="benchmarkPeakRatio">The peak ratio of the benchmark
119     ///   phase.</param>
120     /// <param name="bonusFactor">The bonus factor to reward long-term
121     ///   savings.</param>
122     /// <param name="dragCoefficient">The drag coefficient the avatar had
123     ///   before.</param>
124     /// <returns>Returns the new drag coefficient of the avatar.</returns>
125     public static double CptDragCoefficient(double peakRatioLastWeek, double
126     benchmarkPeakRatio, double bonusFactor, double dragCoefficient)
127     {
128         // realtive change of peak ratio compared to benchmark value
129         // positive if peak ratio was reduced, otherwise negative

```

```

120 // note that a higher peak ratio is better, the highest possible value is
121 // 1.0 (i.e. no peaks, constant consumption)
122 double relativeChange = (benchmarkPeakRatio - peakRatioLastWeek) /
    benchmarkPeakRatio;
123 double dragCoefficientY = ((dragCoefficient - 1.0) / 2.0) *
    (F_DragCoefficient(1.0) - F_DragCoefficient(1009.0)) +
    F_DragCoefficient(1009.0);
124 double dragCoefficientX = Math.Pow(1.0 / dragCoefficientY, 5.0) - 15.0;
125 // increasing or decreasing drag area of the avatar
126 if (relativeChange > 0.0) // peak ratio decreased
127 {
128     dragCoefficientX = dragCoefficientX * (1.0 - relativeChange);
129 }
130 else if (relativeChange < 0.0) // peak ratio increased
131 {
132     dragCoefficientX = dragCoefficientX * (1.0 - relativeChange * (1 +
        bonusFactor / 1000.0));
133 }
134 dragCoefficientX = dragCoefficientX < -15 ? -15 : dragCoefficientX;
135 dragCoefficient = ((F_DragCoefficient(dragCoefficientX) -
    F_DragCoefficient(1.0)) / (F_DragCoefficient(1.0) -
    F_DragCoefficient(1009.0))) * 2 + 3;
136 dragCoefficient = dragCoefficient < 0.01 ? 0.01 : dragCoefficient;
137 return dragCoefficient > 3 ? 3 : dragCoefficient;
138 }
139
140 /// <summary>
141 /// Computes the motivation of the avatar based on the login-frequency within a
142 /// certain week.
143 /// </summary>
144 /// <param name="userId">The ID of the user.</param>
145 /// <param name="sunday">The sunday of the week for which logins are counted
146 /// (user logins = avatar motivation).</param>
147 /// <returns>Returns the new motivation of the avatar.</returns>
148 public static double CptMotivation(int userId, DateTime sunday)
149 {
150     // a dimensionless parameter that has to be computed depending on the
151     // fequence of the users online activity (on SmartER Game web portal)
152     return WtDataConnector.CountLogins(userId, sunday);
153 }
154
155 /// <summary>
156 /// Computes a scaling factor which is needed to calculate top speed,
157 /// acceleration and endurance of the avatar.
158 /// </summary>
159 /// <param name="strength">The strength the avatar.</param>
160 /// <param name="weight">The weight the avatar.</param>
161 /// <returns>Returns the scale factor.</returns>
162 public static double CptScaleFactor(double strength, double weight)
163 {
164     return (strength / 3000.0 + 300.0 / weight) / 2.0;
165 }
166
167 /// <summary>
168 /// Computes the endurance of the avatar.

```

```

164     /// </summary>
165     /// <param name="strength">The strength the avatar.</param>
166     /// <param name="weight">The weight the avatar.</param>
167     /// <param name="motivation">The motivation the avatar.</param>
168     /// <returns>Returns the endurance of the avatar.</returns>
169     public static double CptEndurance(double strength, double weight, double
        motivation)
170     {
171         double e = (0.4 * CptScaleFactor(strength, weight) + motivation / 7.0 * 0.4);
172         return e > 0.9 ? 0.9 : e;
173     }
174
175     /// <summary>
176     /// Computes the top speed of the avatar.
177     /// </summary>
178     /// <param name="strength">The strength the avatar.</param>
179     /// <param name="weight">The weight the avatar.</param>
180     /// <param name="dragCoefficient">The drag coefficient the avatar.</param>
181     /// <returns>Returns the top speed of the avatar.</returns>
182     public static double CptTopSpeed(double strength, double weight, double
        dragCoefficient)
183     {
184         double topSpeed = 60.0 * CptScaleFactor(strength, weight) / dragCoefficient;
185         topSpeed = topSpeed < MINSPEED ? MINSPEED : topSpeed;
186         return 60.0 * CptScaleFactor(strength, weight) / dragCoefficient;
187     }
188
189     /// <summary>
190     /// Computes the acceleration of the avatar.
191     /// </summary>
192     /// <param name="strength">The strength the avatar.</param>
193     /// <param name="weight">The weight the avatar.</param>
194     /// <returns>Returns the acceleration of the avatar.</returns>
195     public static double CptAcceleration(double strength, double weight)
196     {
197         return strength * CptScaleFactor(strength, weight) / weight;
198     }
199
200     /// <summary>
201     /// Some root function for smoothing strength development.
202     /// </summary>
203     /// <param name="x">The x value.</param>
204     /// <returns>Returns f(x).</returns>
205     public static double F_Strength(double x)
206     {
207         return Math.Pow(x + 15.0, 1.0 / 5.0);
208     }
209
210     /// <summary>
211     /// Some root function for smoothing weight development.
212     /// </summary>
213     /// <param name="x">The x value.</param>
214     /// <returns>Returns f(x).</returns>
215     public static double F_Weight(double x)
216     {

```

```

217         return Math.Pow(x + 15.0, -1.0 / 5.0);
218     }
219
220     /// <summary>
221     /// Some root function for smoothing drag coefficient development.
222     /// </summary>
223     /// <param name="x">The x value.</param>
224     /// <returns>Returns f(x).</returns>
225     public static double F_DragCoefficient(double x)
226     {
227         return Math.Pow(x + 15.0, -1.0 / 5.0);
228     }
229 }
230 }

```

5.2.5 Berechnung der Rennzeit

Die Berechnung der Rennzeit eines Energie-Kamels / eines Avatars während eines Energie-Rennens erfolgt in der Klasse SmartEREngine.cs. Im Folgenden sind die hierfür implementierten Methoden dargestellt. Dabei basiert die Rennzeit des Energie-Kamels auf seinen zuvor berechneten Eigenschaften (siehe 5.2.4).

Quellcode 5.6: Berechnung der Rennzeit

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2   * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3   * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6  using System.Collections.Generic;
7  using System.Globalization;
8  using System.Linq;
9  using MathNet.Numerics.Statistics;
10
11 namespace SmartERCore
12 {
13     /// <summary>
14     /// Computes and assembles data for game and visualization content.
15     /// </summary>
16     public class SmartEREngine
17     {
18
19         /* ... */
20
21         public const double MINSPEED = 10.0;
22
23         /// <summary>
24         /// Returns the race time for a given AvatarInfo object and a certain race
25         /// distance.
26         /// </summary>
27         /// <param name="raceDistance">The race distance. Default: 5000</param>
28         /// <param name="avatarInfo">The AvatarInfo object.</param>
29         /// <returns>The race time.</returns>

```

```

29     public static double GetRaceTime(AvatarInfo avatarInfo, double raceDistance =
30         5000.0)
31     {
32         double distancePx = 1000;
33
34         double topSpeed = avatarInfo.TopSpeed;
35         double acceleration = avatarInfo.Acceleration;
36         double endurance = avatarInfo.Endurance;
37
38         double accD, accT, topD, topT, minD, minT;
39         accD = acceleration * 0.5 * ((topSpeed / 3.6) / acceleration) * ((topSpeed /
40             3.6) / acceleration);
41         accT = 200.0 * (topSpeed / 3.6) / acceleration;
42
43         if (accD > distancePx)
44         {
45             accD = distancePx;
46             topD = 0.0;
47             topT = 0.0;
48             minD = 0.0;
49             minT = 0.0;
50         }
51         else
52         {
53             topD = endurance * distancePx;
54             topT = 20.0 * (raceDistance * endurance) / (topSpeed / 3.6);
55
56             if (accD + topD > distancePx)
57             {
58                 topT = topT * (distancePx - accD) / topD;
59                 topD = distancePx - accD;
60                 minD = 0.0;
61                 minT = 0.0;
62             }
63             else
64             {
65                 minD = distancePx - accD - topD;
66                 minT = 5.0 * (raceDistance - (raceDistance * endurance) - accD) /
67                     (10.0 / 3.6);
68
69                 if (accD + topD + minD > distancePx)
70                 {
71                     minT = minT * (distancePx - accD - topD) / minD;
72                     minD = distancePx - accD - topD;
73                 }
74             }
75         }
76
77         return accT + topT + minT;
78     }
79
80     /// <summary>
81     /// Returns the acceleration distance.
82     /// </summary>
83     /// <param name="acceleration">The acceleration of the avatar.</param>

```

```

81     /// <param name="accelerationTime">The time needed for acceleration.</param>
82     /// <returns></returns>
83     public static double GetAccelerationDistance(double acceleration, double
84         accelerationTime)
85     {
86         return acceleration * 0.5 * accelerationTime * accelerationTime;
87     }
88     /// <summary>
89     /// Returns the distance performed with top speed.
90     /// </summary>
91     /// <param name="raceDistance">The race distance.</param>
92     /// <param name="endurance">The endurance of the avatar.</param>
93     /// <returns></returns>
94     public static double GetTopSpeedDistance(double raceDistance, double endurance)
95     {
96         return raceDistance * endurance;
97     }
98     /// <summary>
99     /// Returns the distance needed for deceleration.
100    /// </summary>
101    /// <param name="decelerationTime">The time needed for deceleration.</param>
102    /// <returns></returns>
103    public static double GetDecelerationDistance(double decelerationTime)
104    {
105        return 1.5 * 0.5 * decelerationTime * decelerationTime;
106    }
107    /// <summary>
108    /// Returns the time needed for acceleration.
109    /// </summary>
110    /// <param name="topSpeed">The top speed of the avatar.</param>
111    /// <param name="acceleration">The acceleration of the avatar.</param>
112    /// <returns></returns>
113    public static double GetAccelerationTime(double topSpeed, double acceleration)
114    {
115        return (topSpeed / 3.6) / acceleration;
116    }
117    /// <summary>
118    /// Returns the time performed in top speed.
119    /// </summary>
120    /// <param name="topSpeedDistance">The distance covered in top speed.</param>
121    /// <param name="topSpeed">The top speed of the avatar.</param>
122    /// <returns></returns>
123    public static double GetTopSpeedTime(double topSpeedDistance, double topSpeed)
124    {
125        return topSpeedDistance / (topSpeed / 3.6);
126    }
127    /// <summary>
128    /// Returns the time needed for deceleration.
129    /// </summary>
130    /// <param name="topSpeed">The top speed of the avatar.</param>

```

```

135     /// <returns></returns>
136     public static double GetDecelerationTime(double topSpeed)
137     {
138         return ((topSpeed - MINSPEED) / 3.6) / 1.5;
139     }
140 }
141 }

```

5.2.6 Berechnung der Spielparameter

Die Berechnung der Spielparameter erfolgt in der Klasse `SmartEREngine.cs` in der Methode `CptGameContent`. Wöchentlich werden für jeden Spieler zunächst die Lastparameter bestimmt und anschließend Achievements (`UpdateAchievements`), Challenges (`CptChallenges`), Energie-Rennen (`CptRaces`) und Ranking berechnet. Dabei wird stets kontrolliert ob ausreichend Messdaten zur Verfügung stehen (`CheckData`). Für weitere Details bspw. bzgl. der Auswertung der Challenges oder der Achievement-Level sei auf die entsprechenden Quellcode-Dateien verwiesen, welche auf <https://gitlab.iib.tu-darmstadt.de/Robert/SmartERCore> verfügbar sind.

Quellcode 5.7: Berechnung der Spielparameter

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2  * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3  * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  using System;
6  using System.Collections.Generic;
7  using System.Globalization;
8  using System.Linq;
9  using MathNet.Numerics.Statistics;
10
11 namespace SmartERCore
12 {
13     /// <summary>
14     /// Computes and assembles data for game and visualization content.
15     /// </summary>
16     public class SmartEREngine
17     {
18
19         /* ... */
20
21         /// <summary>
22         /// Compute game content.
23         /// </summary>
24         /// <param name="sunday">The date of computation.</param>
25         /// <param name="demo">Indicates if game content should be computed for demo
26         ///     users or regular users.</param>
27         /// <returns></returns>
28         public static void CptGameContent(DateTime sunday, bool demo = false)
29         {
30             List<SmartERUser> users;
31
32             if (demo)

```



```

32     {
33         // demo users
34         users = WtDataConnector.GetDemoSergUsers();
35     }
36     else
37     {
38         // regular users
39         users = WtDataConnector.GetSergUsers();
40     }
41     // remove all users that are still in benchmark phase
42     users.RemoveAll(s => s.HouseholdInfo.BenchmarkPowerEnd >= sunday);
43
44     // compute or extend benchmark
45     CptBenchmark(sunday, users);
46
47     // simulate logins
48     if (demo)
49     {
50         // simulate logins for demo users
51         foreach (SmartERUser user in users)
52         {
53             SimulateLoginsForWeek(sunday, user);
54         }
55     }
56     else
57     {
58         // simulate logins for simulated users
59         foreach (SmartERUser user in users)
60         {
61             if (SimUserIDs().Contains(user.Id))
62             {
63                 SimulateLoginsForWeek(sunday, user);
64             }
65         }
66     }
67
68     // check if there are un-simulated weeks and simulate if measurements are
        available
69     foreach (SmartERUser user in users)
70     {
71         List<PowerInfo> powerAttributes =
72             WtDataConnector.GetPowerAttributesHistory(user.Id);
73         // get last date
74         DateTime lastSimDate;
75         if (powerAttributes.Count > 0)
76         {
77             lastSimDate = powerAttributes.Max(p => p.Date);
78         }
79         else
80         {
81             lastSimDate = user.HouseholdInfo.BenchmarkPowerEnd.AddDays(7);
82         }
83         if (lastSimDate < sunday.AddDays(-7))
84         {

```

```

85         // compute game content for each missing week between lastSimDate and
86         last weeks sunday
87         int weekCount = 1;
88         DateTime end = lastSimDate;
89         while ((end = Util.GetLastSunday(lastSimDate.AddDays(weekCount * 7)))
90             <= sunday.AddDays(-7))
91         {
92             // only re-compute if measurements are sufficient
93             if (CheckData(user.Id, Util.GetThisWeeksMonday(end), end))
94             {
95                 ReCptGameContent(user, end, demo);
96             }
97             weekCount++;
98         }
99     }
100
101     // compute power consumption parameters and avatar attributes
102     foreach (SmartERUser user in users)
103     {
104         if (CheckData(user.Id, Util.GetThisWeeksMonday(sunday), sunday))
105         {
106             // power consumption parameters
107             user.UpdatePowerAttributes(sunday);
108             // avatar attributes
109             user.UpdateAvatarAttributes(sunday);
110         }
111     }
112
113     // perform races
114     CptRaces(sunday, users, demo);
115
116     // evaluate achievements, challenges and compute score
117     foreach (SmartERUser user in users)
118     {
119         if (CheckData(user.Id, Util.GetThisWeeksMonday(sunday), sunday))
120         {
121             // update achievements
122             UpdateAchievements(user.Id, sunday, demo);
123             // evaluate challenges
124             CptChallenges(sunday, user);
125             // update score
126             user.UpdateScorePower(sunday);
127         }
128     }
129
130     // make ranking
131     if (demo)
132     {
133         WtDataConnector.InsertDemoPowerRanking(sunday);
134     }
135     else
136     {
137         WtDataConnector.InsertPowerRanking(sunday);

```

```

138     }
139 }
140 }
141 }

```

Quellcode 5.8: Berechnung der Spielparameter: Methode CheckData

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2   * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3   * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5   /// <summary>
6   /// Check for days without measurements within given time period.
7   /// </summary>
8   /// <param name="userId">The ID of the user.</param>
9   /// <param name="start">The start date.</param>
10  /// <param name="end">The end date.</param>
11  /// <returns>Returns true if there is enough data. Returns false
12  /// otherwise.</returns>
13  public static bool CheckData(int userId, DateTime start, DateTime end)
14  {
15      HouseholdInfo householdInfo = WtDataConnector.GetHouseholdInfo(userId);
16      List<DataPoint> measurements =
17          WtDataConnector.GetPowerMeasurements(householdInfo.Id, start, end,
18          Interval.Days);
19      int numberOfDays = (end - start).Days + 1;
20      int counter = 0;
21      if (measurements.Count == 0)
22      {
23          return false;
24      }
25      for (int i = 0; i < measurements.Count; i++)
26      {
27          if (measurements[i].Value != 0)
28          {
29              counter++;
30          }
31      }
32      return counter == numberOfDays;
33  }

```

Quellcode 5.9: Berechnung der Spielparameter: Methode CptRaces

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2   * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3   * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5   /// <summary>
6   /// Compute races.
7   /// </summary>
8   /// <param name="sunday">The date of the race.</param>
9   /// <param name="users">List of users for which races should be computed.</param>
10  /// <param name="demo">Indicates if game content should be computed for demo
11  /// users or regular users.</param>
12  /// <returns></returns>

```

```

12     private static void CptRaces(DateTime sunday, List<SmartERUser> users, bool demo
13         = false)
14     {
15         // determine number of races
16         int numberOfRaces = 0;
17         // determine number of races with 5 participants
18         numberOfRaces = (users.Count - (users.Count % 5)) / 5;
19         // add one last race if there are users left
20         if (users.Count % 5 > 0)
21         {
22             numberOfRaces++;
23         }
24         // perform each race
25         int numberOfParticipants = 5;
26         for (int i = 0; i < numberOfRaces; i++)
27         {
28             numberOfParticipants = 5;
29             // if it is the last race, adjust number of participants
30             if (i == (numberOfRaces - 1))
31             {
32                 if (users.Count % 5 > 0)
33                 {
34                     numberOfParticipants = users.Count % 5;
35                 }
36             }
37             // perform the race
38             Race race = new Race(HouseholdType.NONE, numberOfParticipants, 5000,
39                 sunday, demo);
40             race.Run();
41         }
42     }

```

Quellcode 5.10: Berechnung der Spielparameter: Methode CptChallenges

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2  * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3  * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  /// <summary>
6  /// Evaluate challenges for given users.
7  /// </summary>
8  /// <param name="sunday">The sunday of the week for which game content is
9  /// computed.</param>
10 /// <param name="user">User for which challenges should be evaluated.</param>
11 /// <returns></returns>
12 private static void CptChallenges(DateTime sunday, SmartERUser user)
13 {
14     ChallengeInfo activeChallenge = WtDataConnector.GetActiveChallenge(user.Id);
15     if (activeChallenge == null)
16     {
17         // make a new challenge
18         ChallengeInfo newChallenge;
19         do
20         {
21             newChallenge = GetRandomChallenge(user.Id, sunday.AddDays(1));

```

```

21     } while (newChallenge.Code == ChallengeCode.Save_2_Percent ||
22             newChallenge.Code == ChallengeCode.Reduce_BaseLoad_2_Percent);
23     // insert challenge
24     WtDataConnector.InsertChallenge(newChallenge);
25 }
26 else
27 {
28     // check if there is enough data last week to evaluate the challenge
29     // types Save_2_Percent, Reduce_BaseLoad_2_Percent or
30     // Save_3_Percent_Weekends
31     if (!CheckData(user.Id, Util.GetThisWeeksMonday(sunday), sunday) &&
32         (activeChallenge.Code == ChallengeCode.Save_2_Percent
33          || activeChallenge.Code == ChallengeCode.Reduce_BaseLoad_2_Percent
34          || activeChallenge.Code == ChallengeCode.Save_3_Percent_Weekends
35          ))
36     {
37         // so we don't have enough data
38         // now check if challenge is expired
39         if (activeChallenge.End < sunday.AddDays(1))
40         {
41             // challenge expired
42             // make a new challenge
43             // as we don't have measurements of last week, challenge types
44             // Save_2_Percent and Reduce_BaseLoad_2_Percent cannot be used
45             ChallengeInfo newChallenge;
46             do
47             {
48                 newChallenge = GetRandomChallenge(user.Id, sunday.AddDays(1),
49                                                     activeChallenge.Code);
50             } while (newChallenge.Code == ChallengeCode.Save_2_Percent ||
51                     newChallenge.Code == ChallengeCode.Reduce_BaseLoad_2_Percent);
52             // insert challenge
53             WtDataConnector.InsertChallenge(newChallenge);
54         }
55     }
56     else
57     {
58         // score = 0, because we cannot evaluate the challenge
59         // update challenge
60         activeChallenge.Score = 0;
61         WtDataConnector.UpdateChallenge(activeChallenge);
62     }
63 }
64 else
65 {
66     // so there either is enough data or we have a different challenge type
67     // check if challenge is completed
68     if (CheckChallenge(activeChallenge, sunday))
69     {
70         // update challenge
71         activeChallenge.Score = ChallengeScore(activeChallenge.Code);
72         WtDataConnector.UpdateChallenge(activeChallenge);
73         // make a new challenge
74         ChallengeInfo newChallenge = GetRandomChallenge(user.Id,
75                                                         sunday.AddDays(1), activeChallenge.Code);
76         // insert challenge

```

```

68         WtDataConnector.InsertChallenge(newChallenge);
69     }
70     else if (activeChallenge.End < sunday.AddDays(1))
71     {
72         // challenge expired
73         // make a new challenge
74         ChallengeInfo newChallenge;
75         // again, check if there are enough measurements for last week
76         // if not, it limits the range of possible new challenges
77         if (CheckData(user.Id, Util.GetThisWeeksMonday(sunday), sunday))
78         {
79             // we have enough data, so get any new challenge
80             newChallenge = GetRandomChallenge(user.Id, sunday.AddDays(1),
81                 activeChallenge.Code);
82         }
83         else
84         {
85             // we don't have enough measurements => challenge types
86             // Save_2_Percent and Reduce_BaseLoad_2_Percent cannot be used
87             do
88             {
89                 newChallenge = GetRandomChallenge(user.Id,
90                     sunday.AddDays(1), activeChallenge.Code);
91             } while (newChallenge.Code == ChallengeCode.Save_2_Percent ||
92                 newChallenge.Code ==
93                 ChallengeCode.Reduce_BaseLoad_2_Percent);
94             // insert challenge
95             WtDataConnector.InsertChallenge(newChallenge);
96         }
97     }
98 }
99 }
100 }

```

Quellcode 5.11: Berechnung der Spielparameter: Methode UpdateAchievements

```

1  /* This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
2  * License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
3  * file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/. */
4
5  /// <summary>
6  /// Computes and updates all achievement levels for a given user ID.
7  /// </summary>
8  /// <param name="userId">The ID of the user.</param>
9  /// <param name="date">The date.</param>
10 /// <param name="demo">Indicates if update is done on demo users.</param>
11 /// <returns></returns>
12 public static void UpdateAchievements(int userId, DateTime date, bool demo =
13     false)
14 {
15     List<AvatarInfo> avatarHistory = WtDataConnector.GetAvatarHistory(userId);
16     int level;
17     foreach (AchievementCode code in Enum.GetValues(typeof(AchievementCode)))
18     {
19         level = CptAchievementLevel(userId, code, avatarHistory, demo);
20     }
21 }

```

```
19         WtDataConnector.UpdateAchievement(userId, code, level, date);
20     }
21     // check score achievement again because other achievement scores may have
22     // tipped it over to the next level
23     level = CptAchievementLevel(userId, AchievementCode.Score, avatarHistory,
24     demo);
25     WtDataConnector.UpdateAchievement(userId, AchievementCode.Score, level,
26     date);
27 }
```

5.3 Open Source Quellcode über Git-Repository abrufbar

Der Quellcode der Spielmechanik, sowie verschiedener Datenstrukturen wurde unter der Mozilla Public License 2.0 (MPL-2) veröffentlicht:

<http://mozilla.org/MPL/2.0/>

Die Quelldateien können über ein öffentliches Git-Repository abgerufen werden:

<https://gitlab.iib.tu-darmstadt.de/Robert/SmarterERCore/tree/master>

Bei dem zur Verfügung gestellten Quellcode handelt es sich nur um einen Teil des Softwareprojekts. Die folgenden Quelldateien werden referenziert, können jedoch nicht unter einer Open Source Lizenz verfügbar gemacht werden, da sie auf proprietären Softwarebibliotheken basieren:

WtUtil.cs

WtExtensions.cs

WtDataPointLoader.cs

WtDataConnector.cs

WtChartImageLoader.cs

Bei den genannten Quelldateien handelt es sich um die Datenbankschnittstelle. Für eine Verwendung des Quellcodes muss diese durch eine eigene Implementierung ersetzt werden. Gleiches gilt für die Nutzeroberfläche des Web-Frontend.

5.4 Die Nutzeroberfläche

Dieser Abschnitt stellt die einzelnen Seiten der Nutzeroberfläche vor. Ausgehend von der Startseite werden die Funktionen der einzelnen Webseiten besprochen und anhand von Screenshots visualisiert.

Abbildung 5.3 zeigt die Login-Seite auf welcher sich ein registrierter Nutzer per Nutzernamen und Passwort einloggen kann.

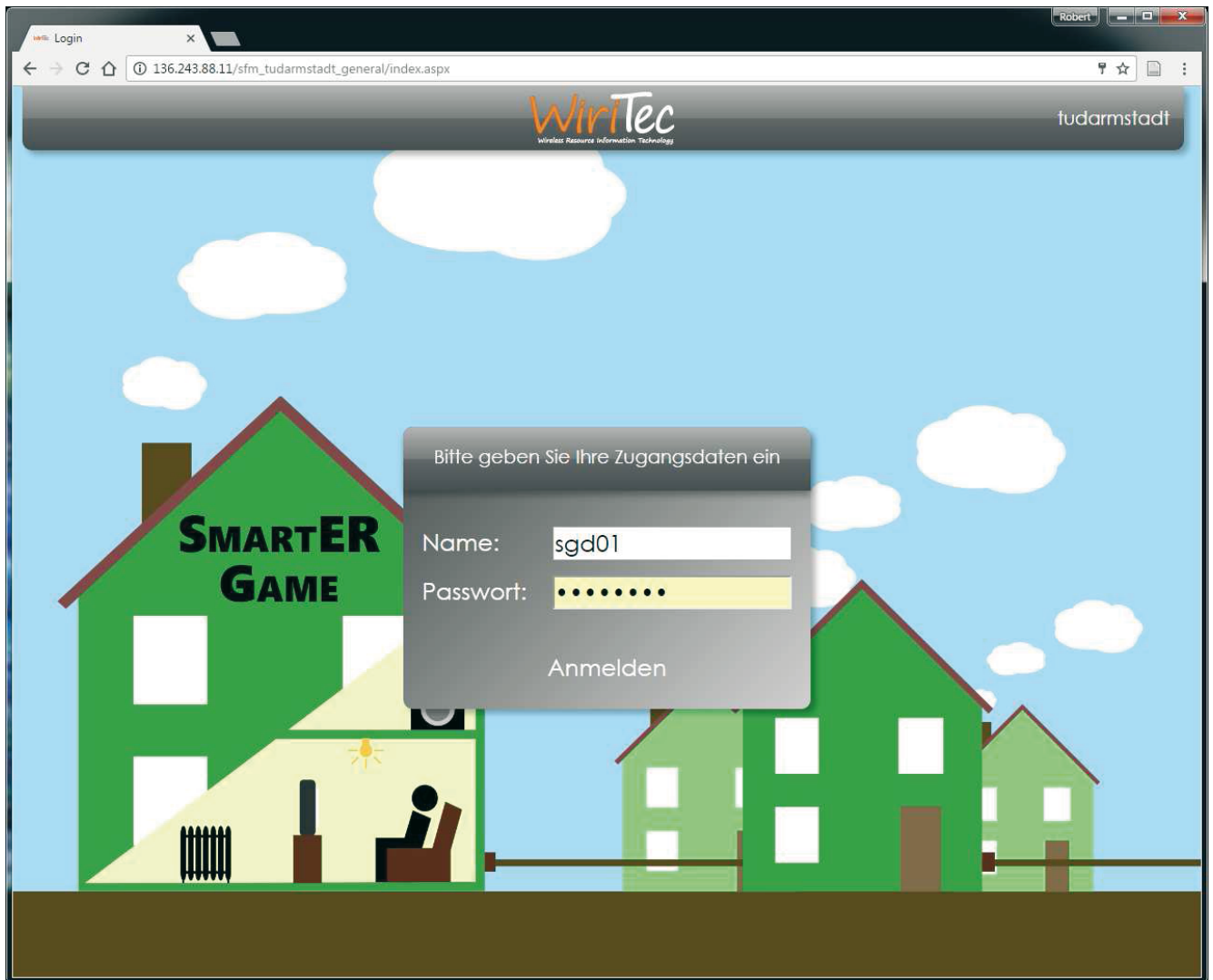


Abbildung 5.3.: Screenshot der Login-Seite

5.4.1 Startseite

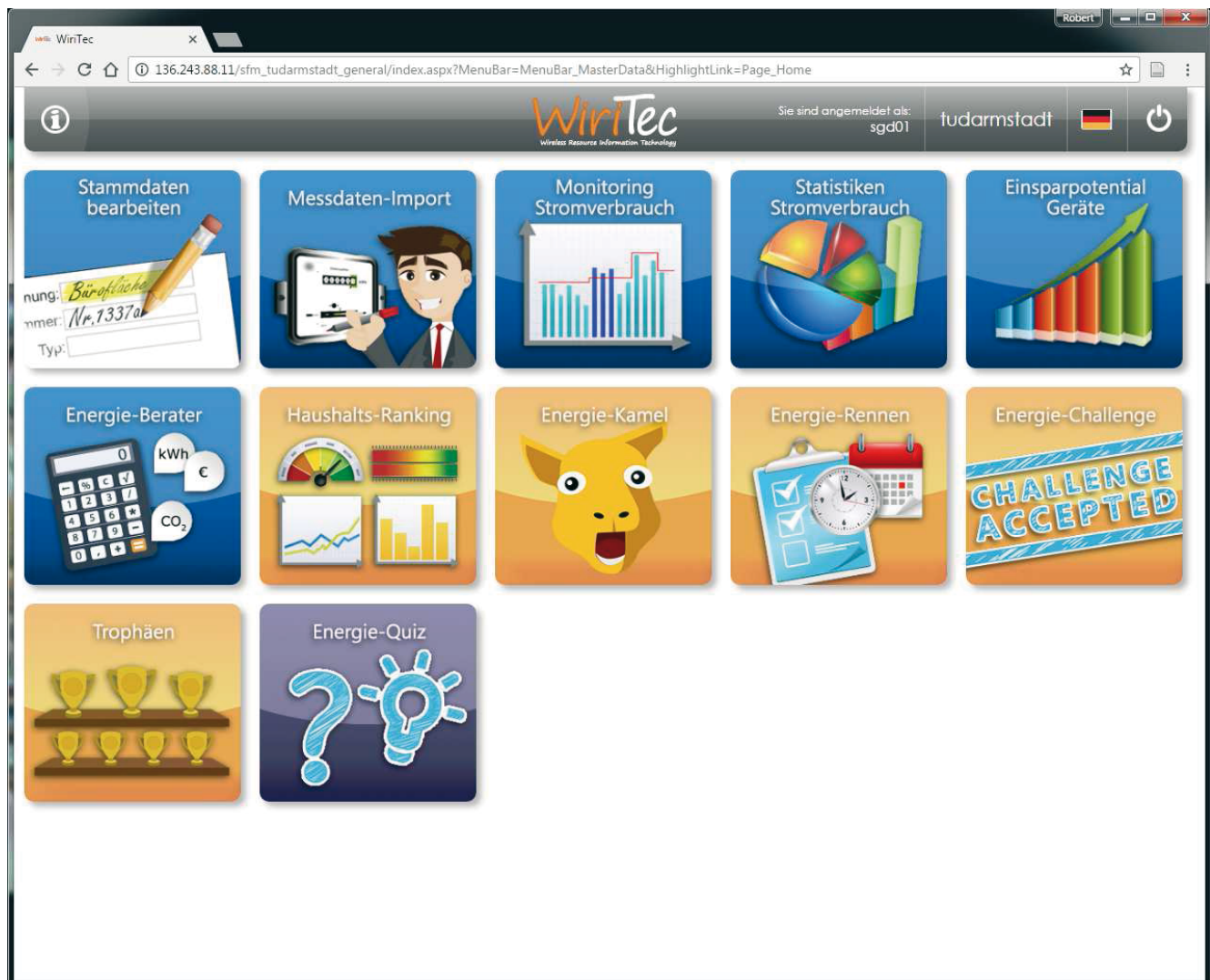


Abbildung 5.4.: Screenshot der Startseite

Nach dem Login wird der Nutzer zur Startseite geleitet. Von der Startseite aus kann der Nutzer über verschiedene „Kacheln“ zu den einzelnen Inhalten und Funktionen navigieren.

Die verfügbaren Kacheln lauten:

- Stammdaten bearbeiten
- Messdaten-Import
- Monitoring Stromverbrauch
- Statistiken Stromverbrauch
- Einsparpotential Geräte
- Energie-Berater
- Haushalts-Ranking
- Energie-Kamel
- Energie-Rennen
- Energie-Challenges
- Trophäen
- Energie-Quiz

5.4.2 Stammdaten bearbeiten

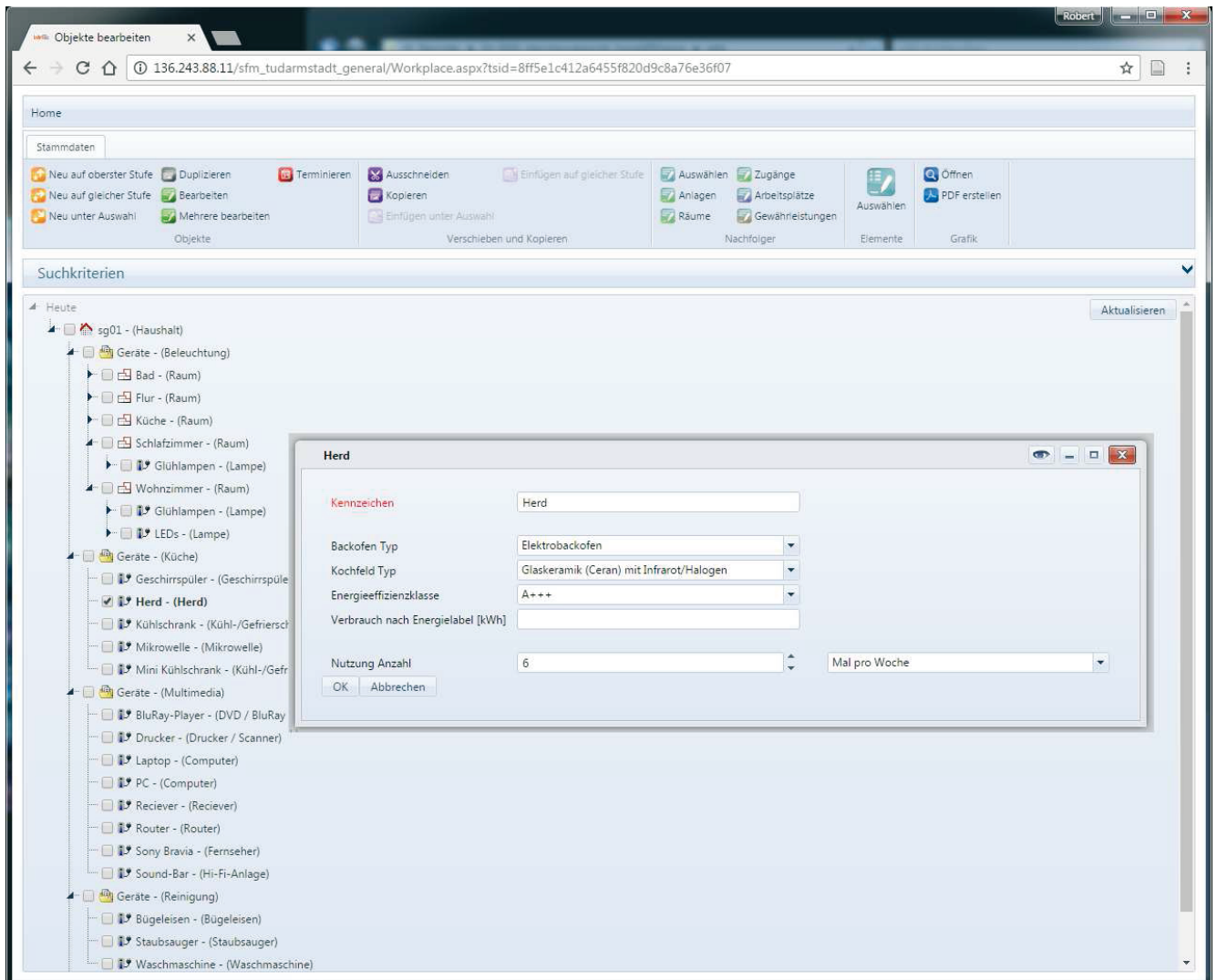


Abbildung 5.5.: Screenshot der Seite „Stammdaten bearbeiten“

Die Seite „Stammdaten bearbeiten“ dient der Eingabe und Bearbeitung von Haushalts- und Nutzerdaten. In einer Baumstruktur werden dem Nutzer sein Haushaltsobjekt und eine Ordnerstruktur angezeigt. Vier dieser Ordner sind durch den Nutzer manipulierbar und dienen der Erfassung der Gerätedaten. Dabei wurde eine Unterteilung in verschiedene Gerätegruppen vorgenommen: Küche, Reinigung, Multimedia, Beleuchtung. Beispielsweise können im Ordner „Geräte (Multimedia)“ Multimedia-Geräte wie Fernseher, Computer etc. angelegt werden. Hierfür werden für jeden Gerätetyp entsprechende Dialogfenster eingeblendet. Die Eingabe der Gerätedaten ist optional, hat aber Einfluss auf die im weiteren Verlauf verfügbaren Funktionen.

5.4.3 Messdaten-Import

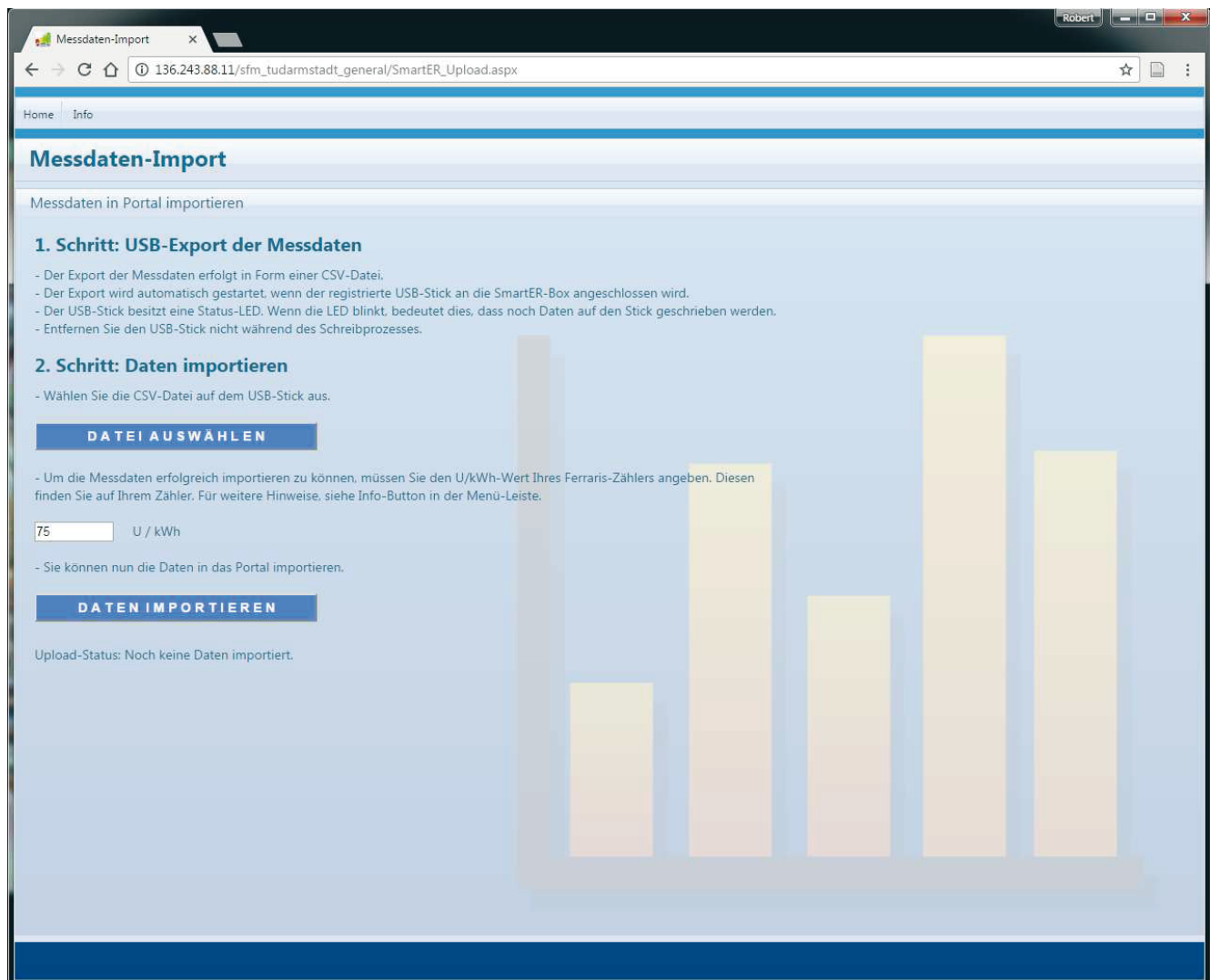


Abbildung 5.6.: Screenshot der Seite „Messdaten-Import“

Auf der Seite „Messdaten-Import“ können Nutzer, deren SmartER-Box nicht an das Internet angeschlossen ist, ihre per USB exportierten Messdaten in das Portal laden. Hierbei ist es wichtig, dass die U/kWh-Zahl des Ferrariszählers angegeben wird.

5.4.4 Monitoring Stromverbrauch

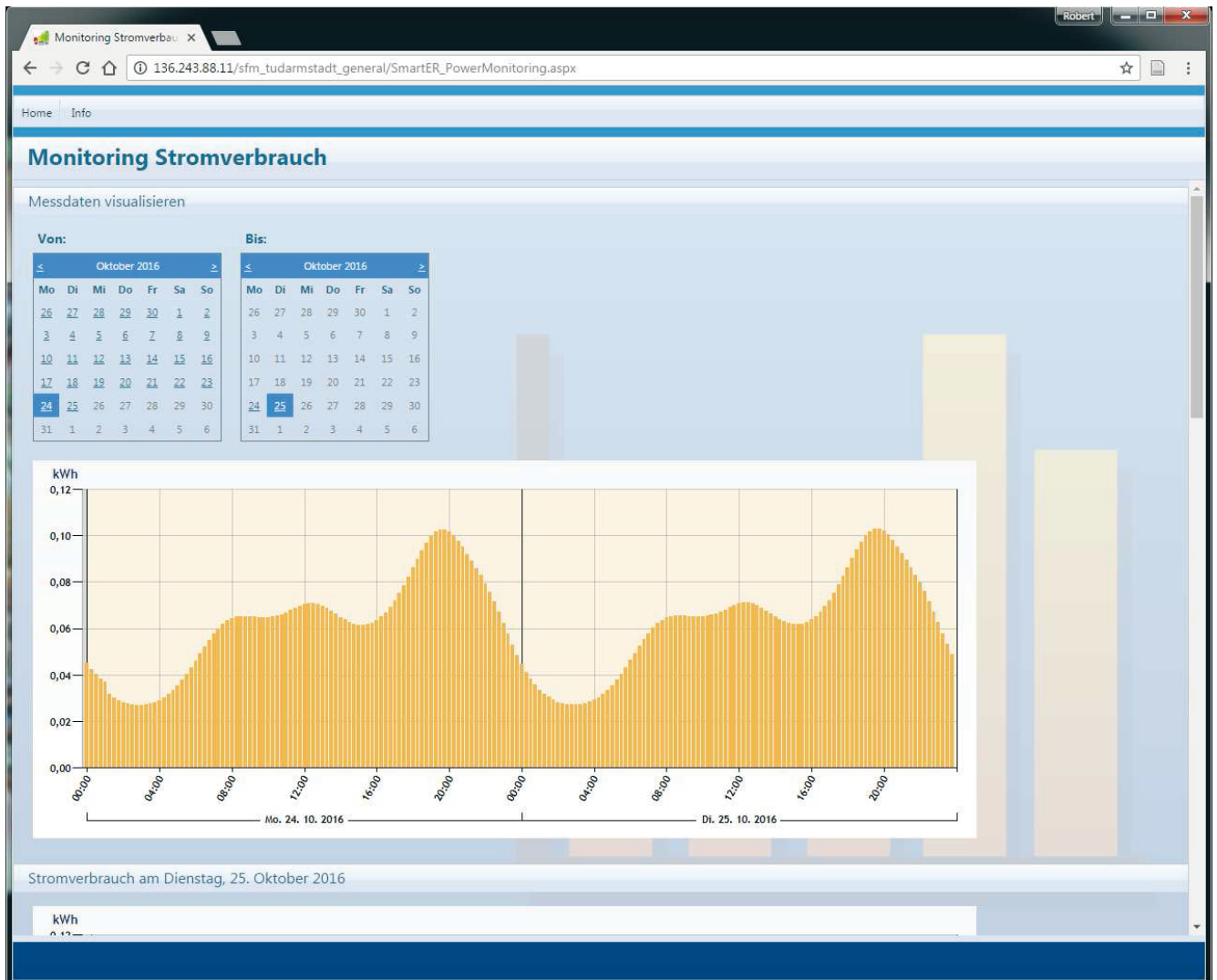


Abbildung 5.7.: Screenshot der Seite „Monitoring Stromverbrauch“

Auf der Monitoring Seite können Nutzer ihren Stromverbrauch für beliebige Zeiträume visualisieren. Weiterhin geben vier Diagramme einen Überblick über die aktuelle Verbrauchsentwicklung:

- Verbrauch des aktuellen Tages in 15-Minuten-Intervallen
- Stündlicher Verbrauch in der aktuellen Woche
- Tagesverbräuche im aktuellen Monat
- Verbrauch pro Woche für das laufende Jahr

5.4.5 Statistiken Stromverbrauch

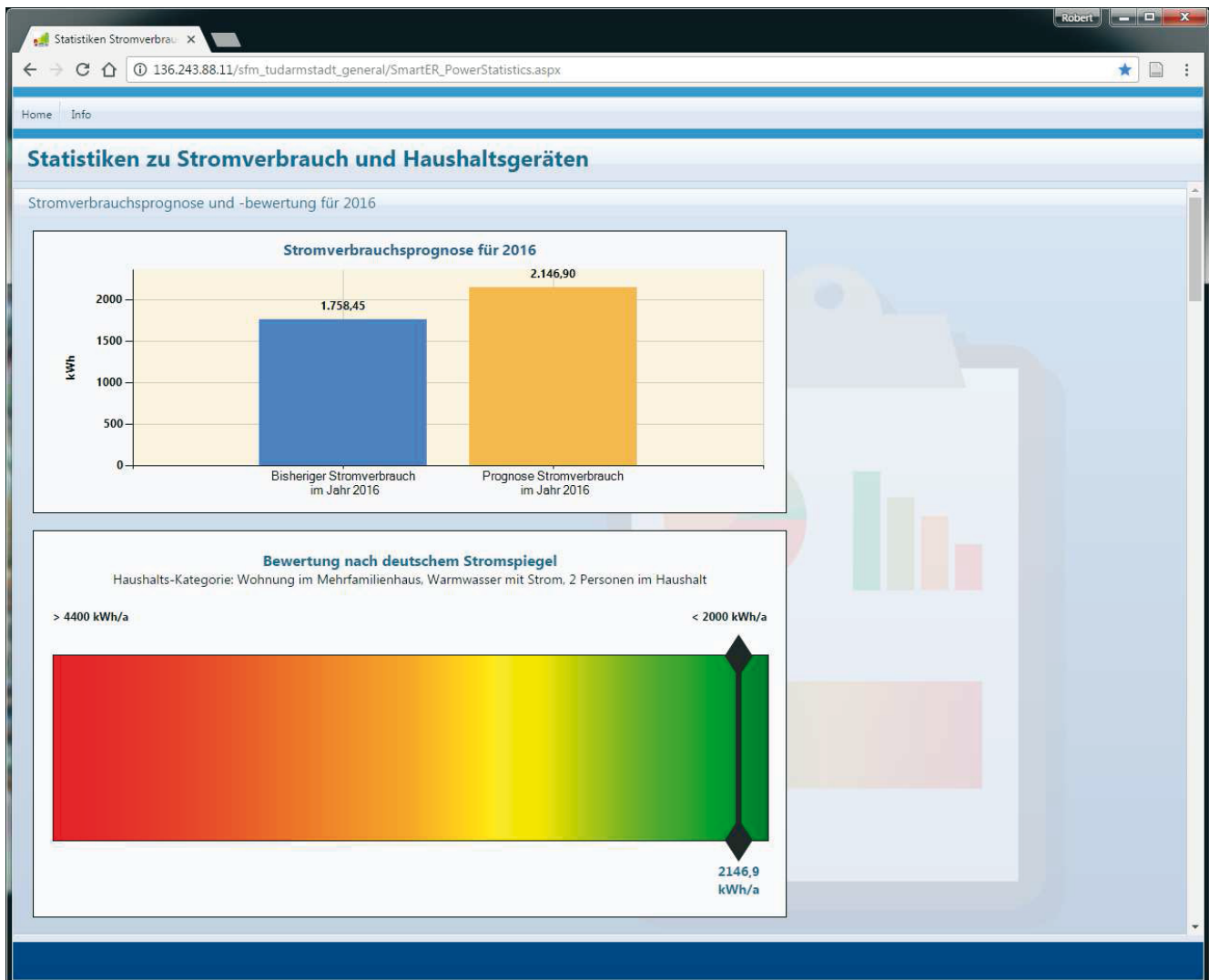


Abbildung 5.8.: Screenshot der Seite „Statistiken Stromverbrauch“, Verbrauchsprognose und Bewertung nach Deutschem Stromspiegel

Diese Seite bietet verschiedene statistische Auswertungen und weitere Analysen des Stromverbrauchs basierend auf den gemessenen Daten und den Nutzereingaben zu vorhandenen Haushaltsgeräten und deren Nutzung. Zunächst wird eine Bewertung des auf Basis der Messdaten approximierten Jahresverbrauchs anhand des Stromspiegels vorgenommen. Weiterhin werden bspw. die Verbrauchskurven der beiden Tage mit dem bisher höchsten und dem niedrigsten Verbrauch angezeigt. Dies ermöglicht es dem Nutzer Rückschlüsse zu ziehen, woraus ein besonders hoher oder niedriger Verbrauch resultieren könnte. Anhand der durch den Nutzer eingegebenen Informationen zu vorhandenen Haushaltsgeräten und deren Betriebszeiten, erfolgt eine Abschätzung des Jahresverbrauchs jedes Geräts. Dadurch wird es möglich beispielsweise auszuwerten, welchen Anteil ein bestimmtes Gerät am Jahresstromverbrauch hat. Diese Visualisierung erfolgt in Form von Kreisdiagrammen („Kuchendiagramme“). Dabei wird die auf der Seite „Stammdaten bearbeiten“ vorgenommene Einteilung in vier Gerätegruppen (Küche, Reinigung, Multimedia, Beleuchtung) beibehalten (siehe Abbildung 5.10).

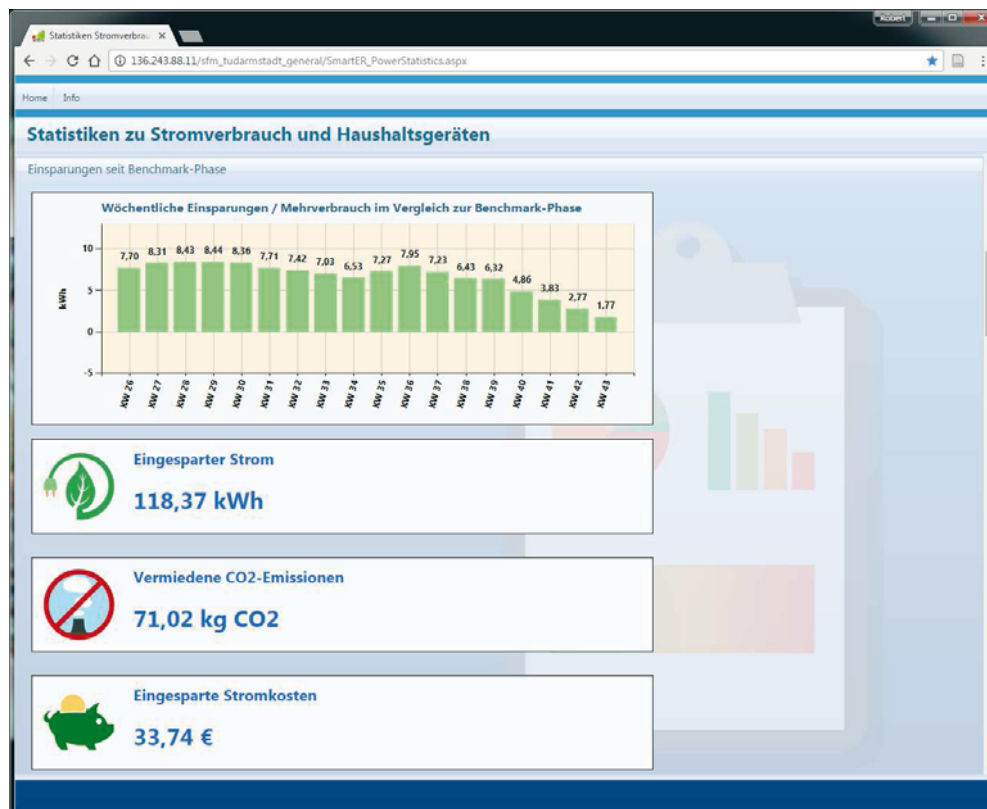


Abbildung 5.9.: Screenshot der Seite „Statistiken Stromverbrauch“, Übersicht zu bereits erzielten Einsparungen seit Spielbeginn

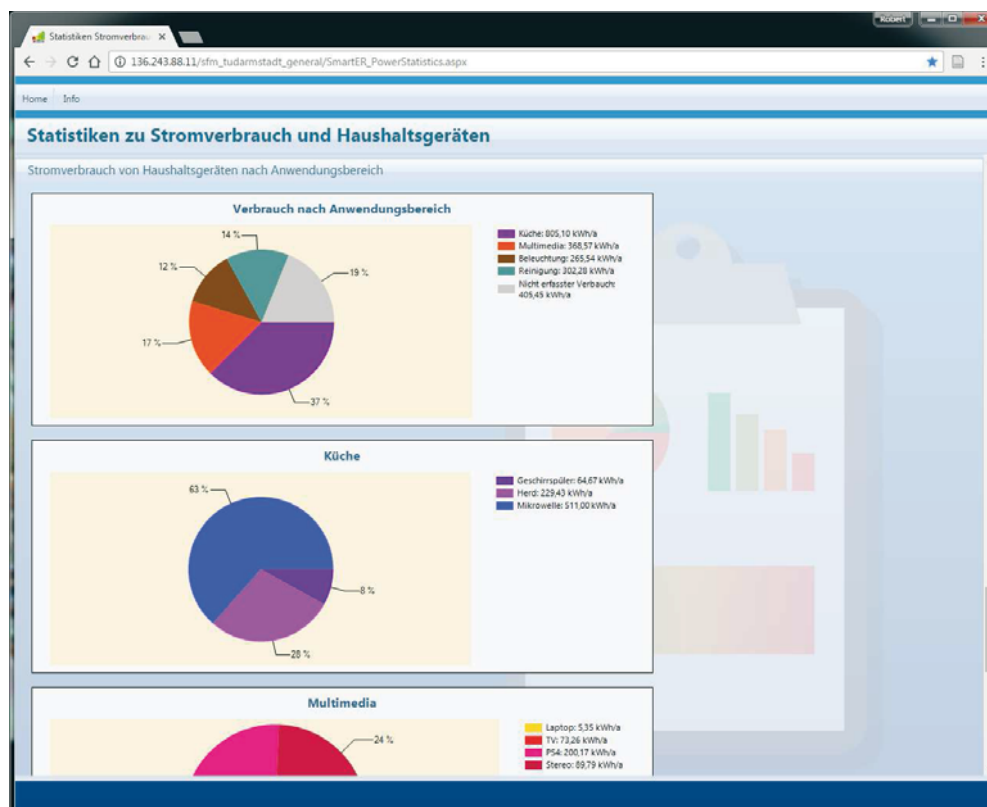


Abbildung 5.10.: Screenshot der Seite „Statistiken Stromverbrauch“, Auswertungen zu Haushaltsgeräten

5.4.6 Einsparpotential Geräte

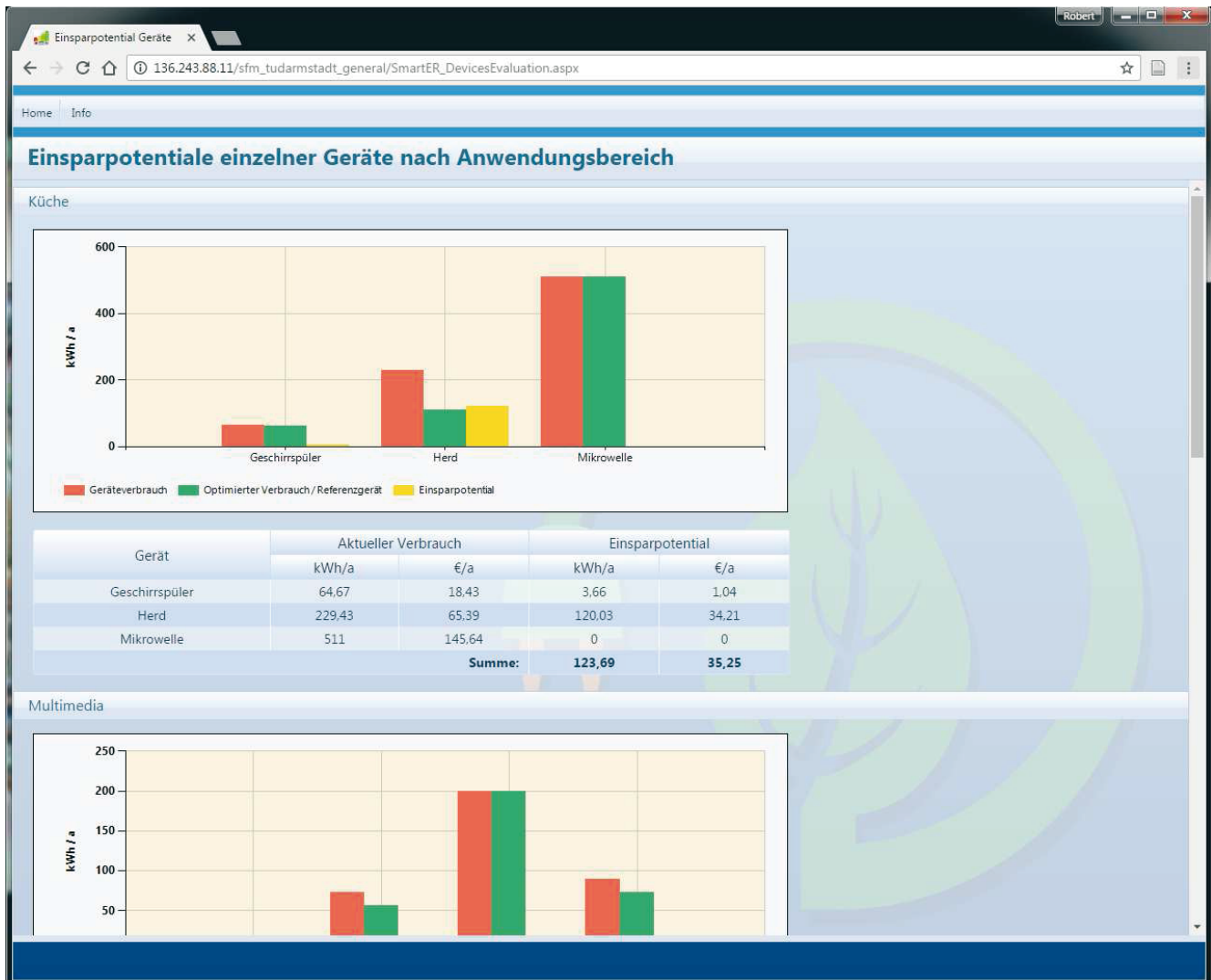


Abbildung 5.11.: Screenshot der Seite „Einsparpotential Geräte“

Basierend auf den Nutzereingaben wird für alle Haushaltsgeräte der jeweilige Jahresverbrauch abgeschätzt. Dieser wird einem optimierten Referenz-Verbrauch gegenübergestellt, um das Einsparungspotential sowohl energetisch als auch finanziell zu verdeutlichen. Die Berechnung des Referenz-Verbrauchs basiert auf im Rahmen dieses Forschungsprojekts durchgeführten umfangreichen Recherchen und betrachtet jeweils das gleiche Gerät unter den besten Bedingungen und der bestmöglichen Bedienung. Dies bedeutet zum Beispiel, dass für das Referenz-Gerät die beste Energieeffizienzklasse und ein Trennen vom Stromkreis bei Nicht-Benutzung angenommen wird. Nutzungszeiten und andere Eigenschaften, wie bspw. die Größe des Geräts, werden gemäß der Nutzereingaben beibehalten. Hierbei wird ebenfalls die Einteilung in verschiedene Gerätegruppen beibehalten um die Übersichtlichkeit zu erhöhen.

5.4.7 Energie-Berater

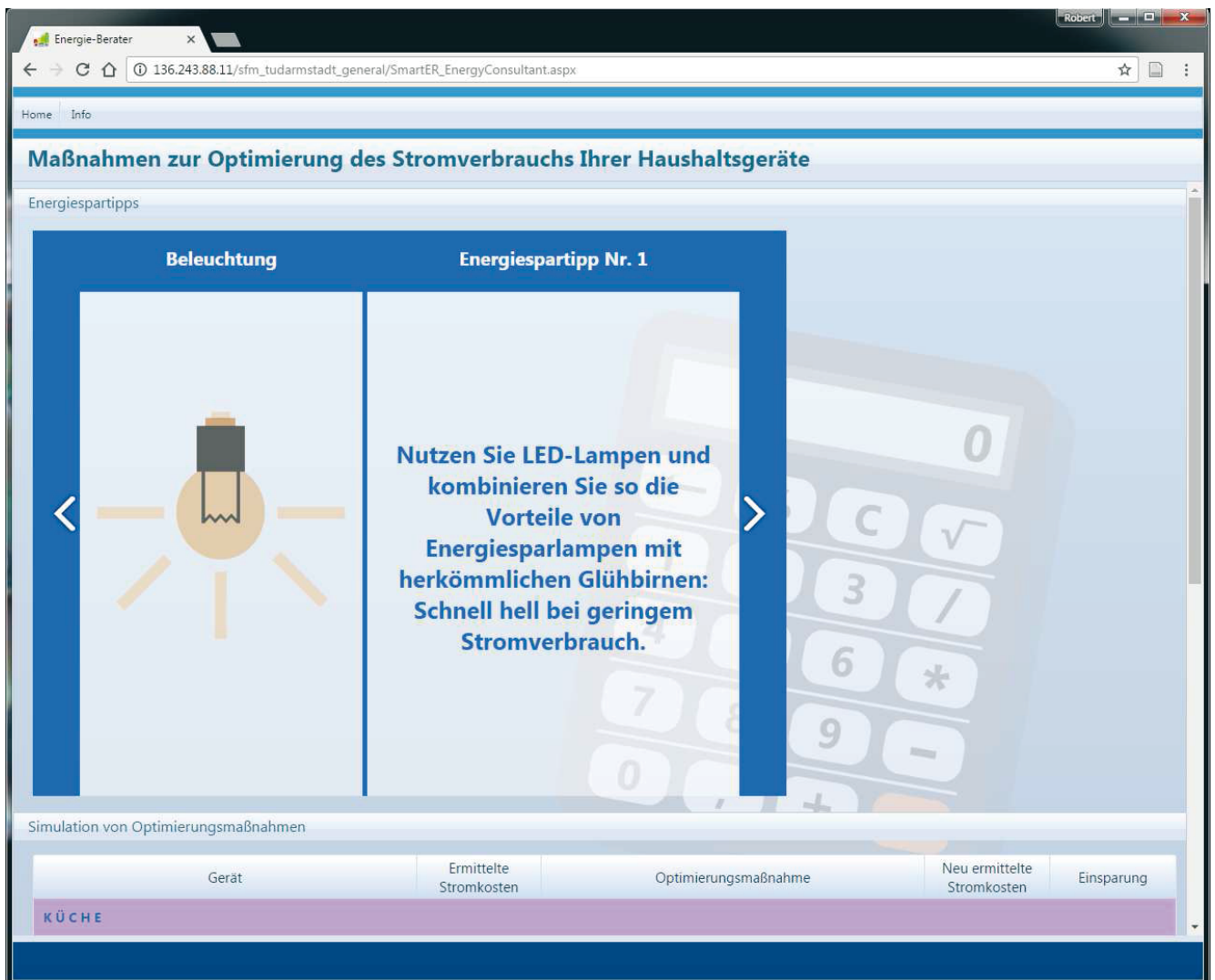


Abbildung 5.12.: Screenshot der Seite „Energie-Berater“: Energiespartipps

Der „Energie-Berater“ stellt einerseits allgemeine Tipps zur Energieeinsparung im Haushalt zur Verfügung und bietet andererseits die Möglichkeit, „virtuelle“ Optimierungen durchzuführen. Hierfür werden die optimierbaren Eigenschaften der durch den Nutzer angegebenen Haushaltsgeräte manipulierbar zur Verfügung gestellt. Der Nutzer kann also bspw. den Austausch eines Kühlschranks durch eine effizientere Geräteklasse und den Wechsel aller Glühbirnen auf LED-Lampen simulieren und so verschiedene Maßnahmen virtuell ausprobieren. Die Geräte sind auch hier gemäß der zu Beginn getroffenen Einteilung in verschiedene Gerätegruppen strukturiert.

Energy-Berater x Robert

136.243.88.11/sfm_tudarmstadt_general/SmartER_EnergyConsultant.aspx

Home Info

Maßnahmen zur Optimierung des Stromverbrauchs Ihrer Haushaltsgeräte

Simulation von Optimierungsmaßnahmen

Gerät	Ermittelte Stromkosten	Optimierungsmaßnahme	Neu ermittelte Stromkosten	Einsparung
KÜCHE				
Geschirrspüler Größe Energieeffizienzklasse Nutzungshäufigkeit	Geschirrspüler Klein A++ 2 mal pro Woche	18,43 €/a	<input checked="" type="checkbox"/> Austauschen durch ein A+++ Gerät gleicher Größe	17,39 €/a 1,04 €/a
Kühlschrank Größe Typ Energieeffizienzklasse	Kühlgerät Klein Integriertes Gefrierfach B	74,04 €/a	<input checked="" type="checkbox"/> Austauschen durch ein A+++ Gerät gleicher Größe	39,6 €/a 34,44 €/a
Mikrowelle Typ Maximale Leistung nach Energielabel [Watt] Nutzungsdauer	Mikrowelle Mit Grill und Heißluft 2200 15 Minuten pro Tag	57,21 €/a	-	-
Herd Backofen Typ Herd Typ	Herd Elektrobackofen Glaskeramik (Ceran) mit Infrarot/Halogen	85,4 €/a	<input type="checkbox"/> Austausch durch eine Induktionskochplatte <input type="checkbox"/> Austausch durch ein Gaskochfeld	- -
MAßNAHMEN ANWENDEN				
Anwendungsbereich	Stromkosten		Einsparung	
	vor Optimierung	nach Optimierung		
Küche	269,23 €/a	233,74 €/a	35,48 €/a	
Multimedia	102,89 €/a	102,89 €/a	0 €/a	
Reinigung	86,21 €/a	86,21 €/a	0 €/a	
Beleuchtung	104,94 €/a	104,94 €/a	0 €/a	

Abbildung 5.13.: Screenshot der Seite „Energie-Berater“: Optimierungsmaßnahmen

5.4.8 Haushalts-Ranking

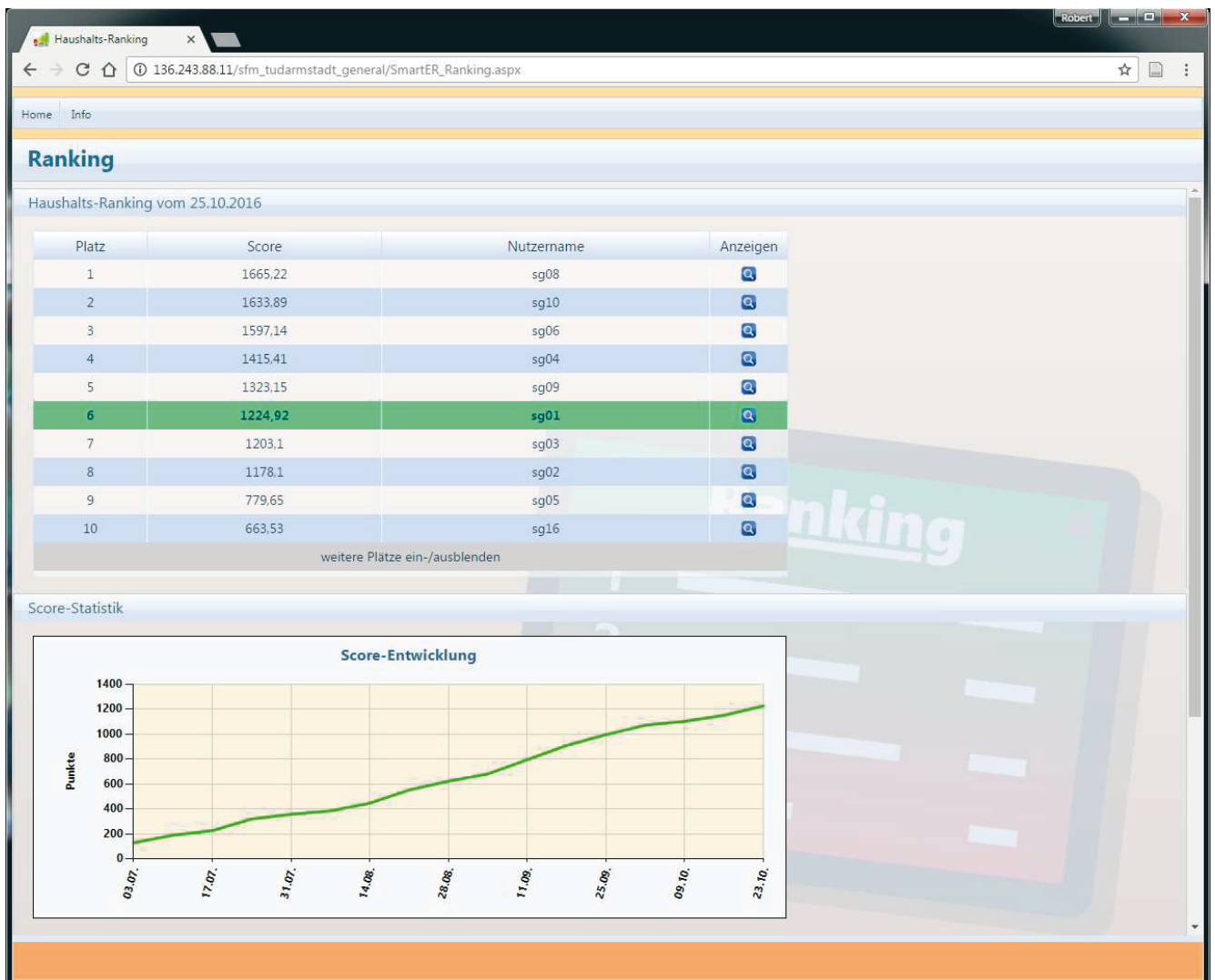


Abbildung 5.14.: Screenshot der Seite „Haushalts-Ranking“

Auf der Seite „Haushalts-Ranking“ wird die aktuelle Rangliste aller Spieler angezeigt. Ebenso kann der Spieler die Entwicklung und die Zusammensetzung der erreichten Punktzahl (Score) nachvollziehen.

Das Ranking ist so aufgebaut, dass zum einen immer die ersten 10 Platzierungen angezeigt werden und andererseits die eigene Platzierung, sowie die direkten „Nachbarn“, auf den ersten Blick zu sehen sind.

Die rechte Spalte des Rankings ermöglicht es, einen Blick auf die Profile anderer Spieler zu werfen (siehe Abbildung 5.15). Dies soll den Wettbewerbscharakter unterstreichen und den Spielern die Möglichkeit geben, sich detaillierter mit anderen Haushalten vergleichen zu können. Die Anzeige der Spielerprofile umfasst dabei Informationen zu erzielten energetischen, finanziellen und CO₂-Einsparungen, dem Haushaltstyp und den errungenen Trophäen.

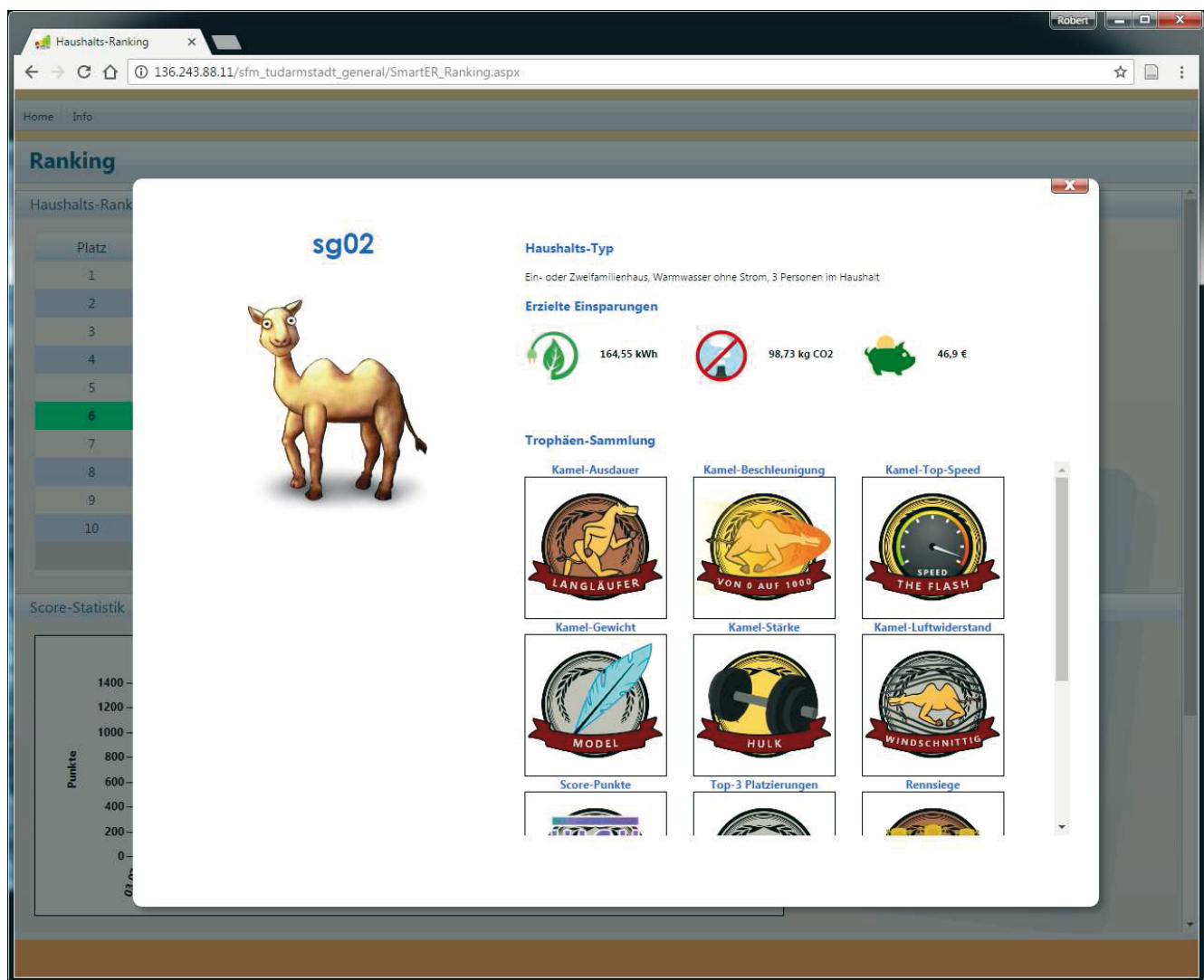


Abbildung 5.15.: Screenshot der Seite „Haushalts-Ranking“: Anzeige eines Nutzerprofils

5.4.9 Energie-Kamel

Home Info

Energie-Kamel

Status

Eigenschaft	Aktueller Wert	Veränderung zur Vorwoche
Stärke [N] 	2824,38	+ 1,5 %
Gewicht [kg] 	331,83	- 2,63 %
Luftwiderstand [-] 	1,16	- 0,78 %
Motivation [%] 	71,43	+ 400 %
Top-Speed [km/h] 	47,8	+ 2,89 %
Beschleunigung [m/s ²] 	7,85	+ 6,42 %
Ausdauer [%] 	72,76	+ 56,39 %

Rennerfolge

Gewonnene Energie-Rennen

Abbildung 5.16.: Screenshot der Seite „Energie-Kamel“

Das Energie-Kamel ist der Avatar eines Spielers und repräsentiert dessen Einsparungserfolge. Das Energie-Kamel hat die in Abschnitt 4.2.6 beschriebenen primären Eigenschaften Stärke, Gewicht, Luftwiderstand und Motivation, sowie die sekundären Eigenschaften Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigung und Ausdauer. Die Visualisierung des Energie-Kamels ist dynamisch, in dem Sinne, dass sich das Erscheinungsbild des Avatars in bestimmten Grenzen an die Eigenschaftswerte anpasst. Ein Kamel mit hohem Gewicht hat beispielsweise auch einen größeren Bauchumfang und ein Kamel mit hohem Luftwiderstand hat höhere Höcker. Gleichermäßen wirkt sich der Wert der Stärke auf die Dicke der Beinmuskulatur aus und die Motivation des Kamels spiegelt sich in dessen Gesichtsausdruck. Diese Dynamik soll den Avatar lebhafter wirken lassen und eine bessere Bindung zum Spieler herstellen. Die Seite „Energie-Kamel“ dient dabei lediglich der Visualisierung und bietet keine weiteren Interaktionsmöglichkeiten.

5.4.10 Energie-Rennen

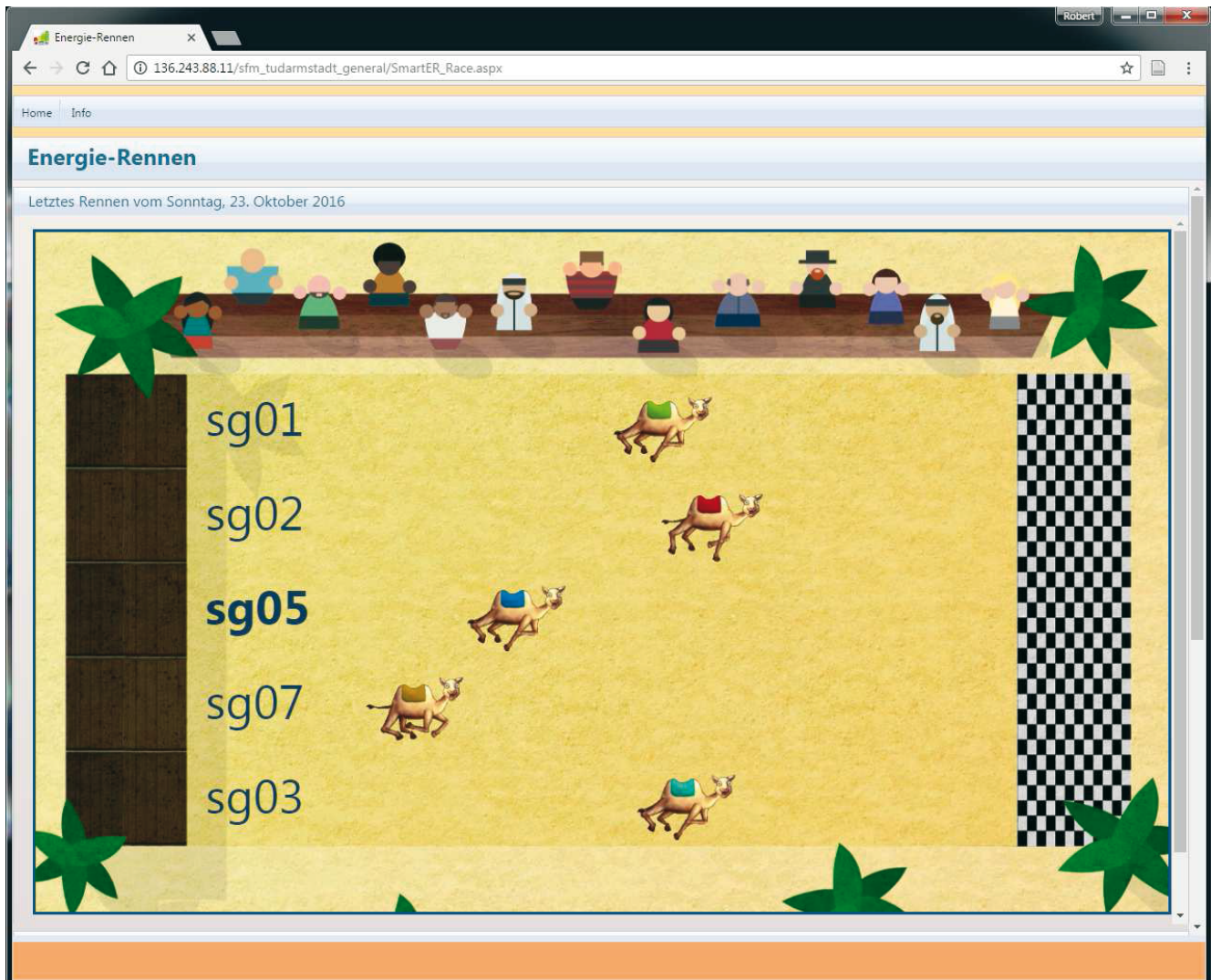


Abbildung 5.17.: Screenshot der Seite „Energie-Rennen“

Das Energie-Rennen kann als spezielle Form eines Rankings gesehen werden. Bei einem Energie-Rennen treten bis zu 5 Energie-Kamele gegeneinander in einem „Kamelrennen“ an. Dabei hängt der Erfolg eines Energie-Kamels im Rennen von seinen sekundären Eigenschaften (Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigung und Ausdauer) ab. Diese wiederum werden aus den primären Eigenschaften (Stärke, Gewicht, Luftwiderstand, Motivation) abgeleitet. Demzufolge hat ein Spieler größere Chancen zu gewinnen, wenn er bezüglich der Lastparameter P_{Avg} , P_{Base} und R_{Peak} Verbesserungen im Vergleich zu Benchmark-Phase erzielt hat. Das Rennen wurde als kleine Animation umgesetzt die der Spieler durch betätigen eines Buttons starten kann. Dies kann er so oft wiederholen, wie er möchte, allerdings wird die Berechnung eines neuen Rennens nur einmal pro Woche (Nacht von Sonntag auf Montag) durchgeführt. Innerhalb einer Woche ist deshalb immer nur ein Rennen zu sehen.

5.4.11 Energie-Challenges

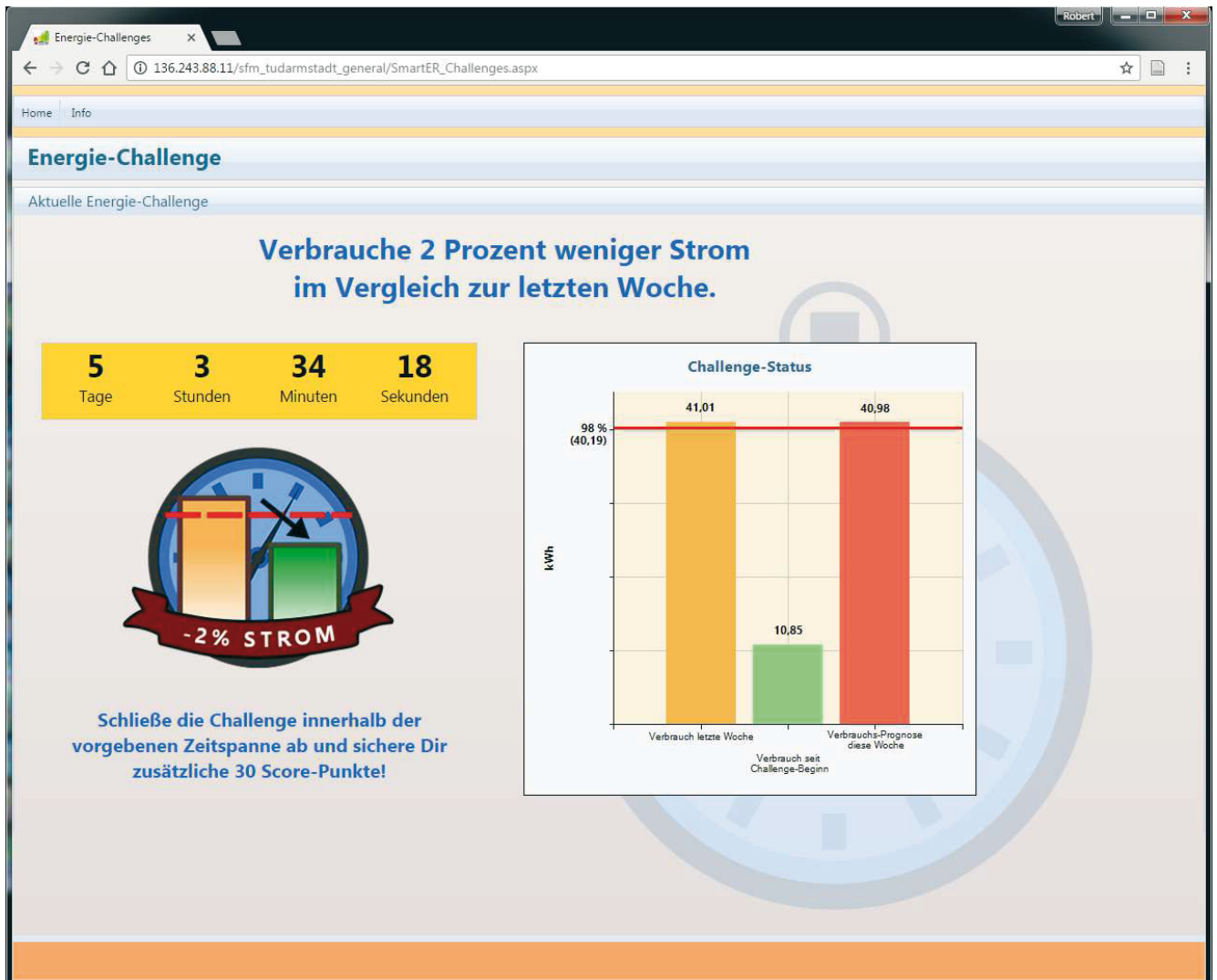


Abbildung 5.18.: Screenshot der Seite „Energie-Challenge“

Auf der Seite „Energie-Challenge“ wird das in Abschnitt 4.2.9 beschriebene Konzept umgesetzt. In regelmäßigen Abständen wird dem Teilnehmer eine neue Herausforderung (*Challenge*) gestellt. Diese kann sich, wie in Abbildung 5.18 dargestellt, auf konkrete Einsparungsziele beziehen, oder etwas abstrakter auf Spielziele (bspw. ein Energie-Rennen gewinnen). Eine Challenge hat einen festen Zeitraum innerhalb dessen sie abgeschlossen werden muss. Die noch verbleibende Zeit, sowie der aktuelle Status werden dem Nutzer entsprechend angezeigt. Der Challenge-Status wird bei der wöchentlichen Berechnung der Spielinhalte überprüft. Wurde die Challenge erfolgreich abgeschlossen, erhält der Spieler zusätzliche Punkte.

5.4.12 Trophäen



Abbildung 5.19.: Screenshot der Seite „Trophäen“

Die Seite „Trophäen“ setzt das in Abschnitt 4.2.10 beschriebene Konzept der virtuellen Auszeichnungen um und dient als „virtuelle Vitrine“ für die erlangten Auszeichnungen. Dabei sind auch die noch nicht errungenen Auszeichnungen (grau) zu sehen, sowie die Anforderungen die erfüllt werden müssen um eine entsprechende Auszeichnung zu erlangen.

5.4.13 Energie-Quiz

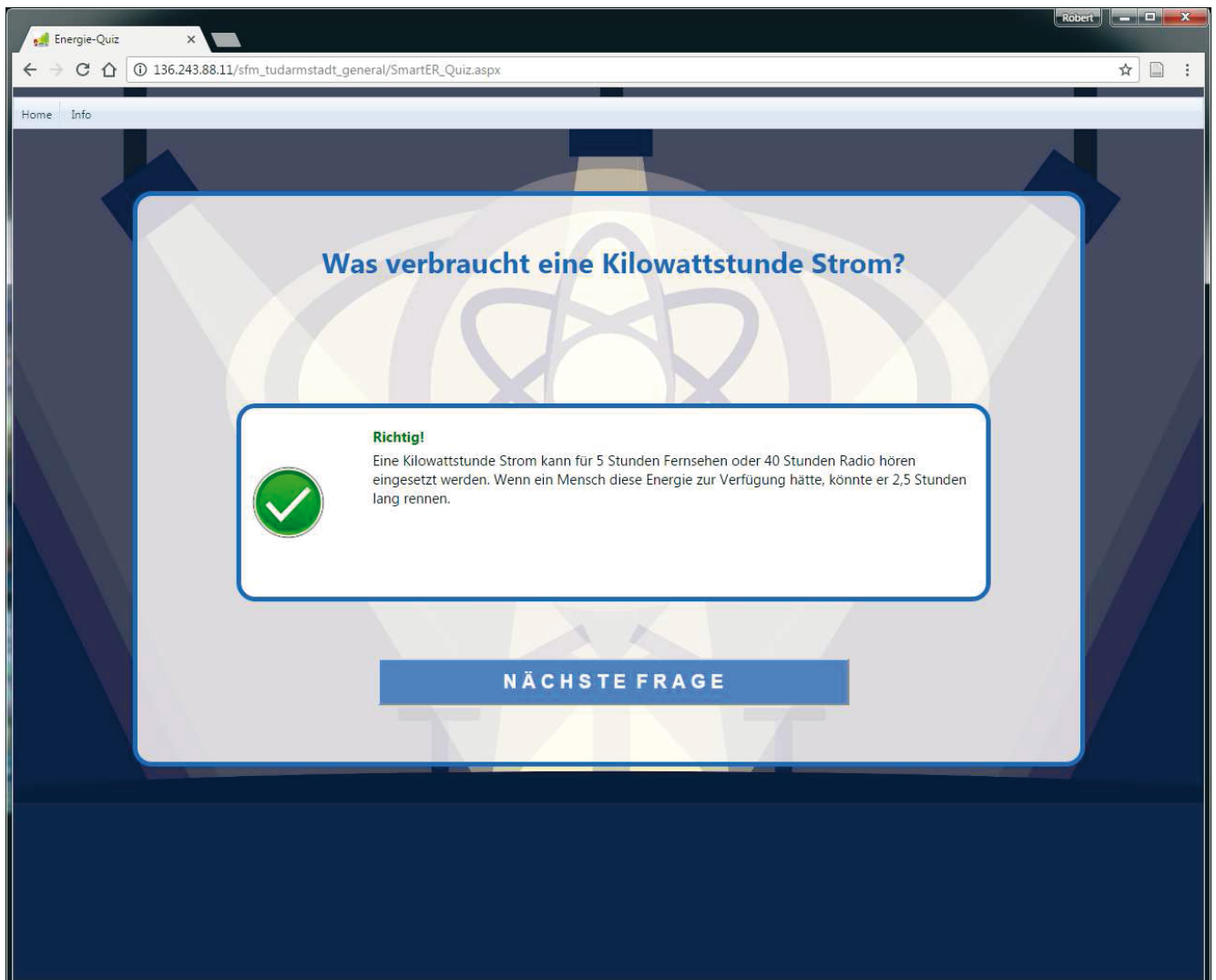


Abbildung 5.20.: Screenshot der Seite „Energie-Quiz“

Das Energie-Quiz soll den Spielern die Möglichkeit geben ihr Wissen über alltägliche oder auch speziellere, energiebezogene Themen zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern. Das Energie-Quiz wurde als Multiple-Choice-Quiz mit jeweils drei Antwortmöglichkeiten umgesetzt, wobei jeweils nur eine korrekt ist. Im Rahmen der Spielentwicklung wurden mehr als 50 Fragen zusammengetragen, auf deren Auflistung an dieser Stelle verzichtet wird. Für das Spielen des Energie-Quiz werden keine Score-Punkte vergeben. Nach der Beantwortung einer Frage bekommt der Spieler Feedback zur gegebenen Antwort. War die Antwort falsch, werden die korrekte Antwort angezeigt und weitere Hintergrundinformationen eingeblendet. Das Quiz kann auch mehrfach gespielt werden.

5.5 Zugang zum SmartER Game Webportal

Das SmartER Game kann über die Webadresse www.smartergame.de erreicht werden hier finden Sie allgemeine Informationen zum Projekt, sowie eine Galerie und die Daten für einen Demo-Zugang.

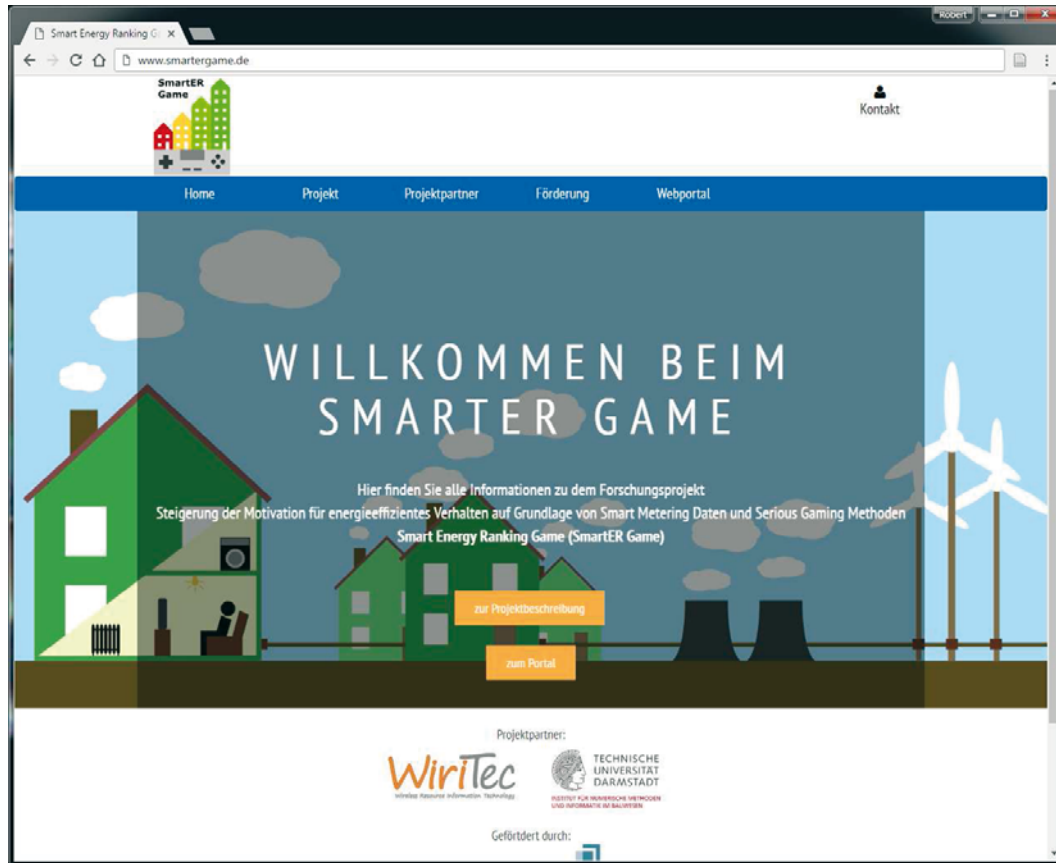


Abbildung 5.21.: Die Webseite www.smartergame.de

Wenn Sie Interesse haben, am SmartER Game teilzunehmen, wenden Sie sich bitte an die hier oder auf der Webseite angegebenen Kontaktstellen:

Technische Universität Darmstadt

Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen
SmartER Game Support
Franziska-Braun-Str. 7
64287 Darmstadt

Mail: smartergame@iib.tu-darmstadt.de
Tel.: +49 (0) 6151 / 16-21331
Fax: +49 (0) 6151 / 16-21339

6 Evaluation

Die Evaluation des Systems erfolgte im Rahmen einer Teststudie anhand simulierter Nutzerdaten. Diese Einschränkung musste getroffen werden, da es im Laufe der Projektphase zu einem Lieferstopp der benötigten Hardware (Ferraris-Leseköpfe) kam. Parallel zur Entwicklung des Webportals wurden deshalb die notwendigen Schritte eingeleitet, um die Leseköpfe künftig in Eigenregie durch lokale Zulieferer fertigen zu lassen. Da die Fertigungskette zum Zeitpunkt dieses Berichts noch nicht vollständig implementiert war, wurde auf simulierte Nutzerdaten zurückgegriffen um die verschiedenen Systemkomponenten zu evaluieren. Neben den simulierten Nutzern wurden auch die Daten dreier Langzeittest (ab November 2015) der SmartER-Box eingebunden.

Im Folgenden werden der Aufbau der Teststudie, sowie die Ergebnisse in Hinblick auf die Spielmechanik beschrieben. Eine Einschätzung bezüglich der Auswirkungen des Gamification-Ansatzes auf das Verbrauchsverhalten kann an dieser Stelle nicht gegeben werden. Diesbezügliche Evaluierungen werden im Rahmen der sich an die Förderzeit anschließende dreijährige Betriebsphase des Portals durchgeführt.

6.1 Aufbau der Teststudie

Für die Teststudie wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

- Start der Benchmark-Phase: Montag, 04.01.2016
- Ende der Benchmark-Phase: Sonntag, 26.06.2016
- Start der simulierten Spielphase: Montag, 27.06.2016
- Ende der simulierten Spielphase: Sonntag 23.10.2016
- Anzahl simulierter Nutzer: 20

6.1.1 Haushaltsprofile

Im Rahmen der Teststudie wurden 20 Haushaltsprofile generiert (sg01 - sg20). Dabei wurden die drei Grundparameter „Haushaltstyp“, „Anzahl Bewohner“ und „Elektrische Warmwasserbereitung“ verschieden variiert. Hinzu kommen 3 Haushaltsprofile (sg21 - sg23) die auf realen Haushalten und Vorort-Messungen mittels SmartER-Box basieren.

Tabelle 6.1 gibt einen Überblick zu den gewählten Haushaltsprofilen der Teststudie. Die Abkürzung „EFH“ steht hierbei für die Haushaltskategorie „Ein- oder Zweifamilienhaus“. „MFH“ steht für die Kategorie „Wohnung in Mehrfamilienhaus“.

Tabelle 6.1.: Haushaltsprofile der Teststudie

Profil	Haushaltstyp	Anzahl Bewohner	El. Warmwasserbreitung	Verbrauchsdaten
sg01	EFH	3	Nein	simuliert
sg02	EFH	3	Nein	simuliert
sg03	EFH	3	Nein	simuliert
sg04	EFH	3	Nein	simuliert
sg05	EFH	3	Nein	simuliert
sg06	EFH	3	Ja	simuliert
sg07	EFH	3	Ja	simuliert
sg08	EFH	3	Ja	simuliert
sg09	EFH	3	Ja	simuliert
sg10	EFH	3	Ja	simuliert
sg11	FH	2	Nein	simuliert
sg12	MFH	2	Nein	simuliert
sg13	MFH	2	Nein	simuliert
sg14	MFH	2	Nein	simuliert
sg15	MFH	2	Nein	simuliert
sg16	MFH	2	Ja	simuliert
sg17	MFH	2	Ja	simuliert
sg18	MFH	2	Ja	simuliert
sg19	MFH	2	Ja	simuliert
sg20	MFH	2	Ja	simuliert
sg21	EFH	3	Nein	Messdaten
sg22	EFH	3	Nein	Messdaten
sg23	EFH	3	Nein	Messdaten

6.1.2 Simulierte Verbrauchsdaten

Für die simulierten Haushaltsprofile wurden 15-minütige Verbrauchsmessdaten auf Basis der H0-Standardlastprofile simuliert. Die Verbrauchsdaten wurden dabei in Anlehnung an den Deutschen Strompreis und in Abhängigkeit der eingestellten Anzahl an Bewohnern skaliert. Die Skalierung wurde dabei variiert um sowohl „sparsame“ als auch „verschwenderische“ Haushalte, im Sinne des Strompreises, abzubilden. Die einzelnen Messwerte wurden weiterhin zufallsbedingt um 10 % erhöht oder gesenkt um mehr Variationen in den Verbrauchskurven zu erzeugen. Die Verbrauchsdaten wurden jeweils für das gesamte Jahr 2016 simuliert.

Abbildungen 6.1 und 6.2 zeigen beispielhaft die erzeugten Verbrauchsdaten für einen simulierten 3-Personen-Haushalt mit einer Skalierung auf 3000 kWh/a. Tabelle 6.2 gibt einen Überblick zu den gewählten Skalierungen für die Verbräuche der simulierten Haushalte.

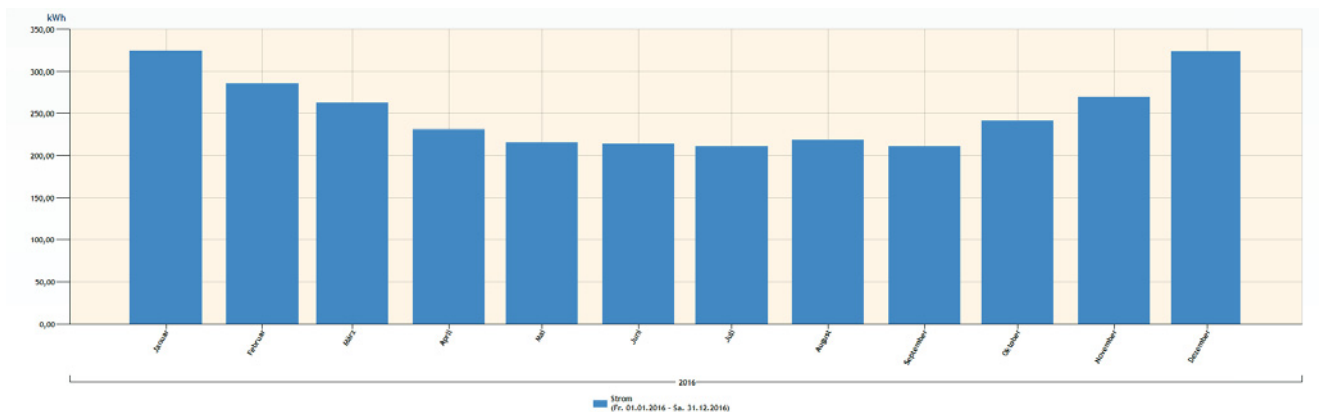


Abbildung 6.1.: Monatliche simulierte Verbrauchsdaten für ein Jahr, für einen 3-Personen Haushalt basierend auf dem H0-Standardlastprofil, Skalierung: 3000 kWh/a

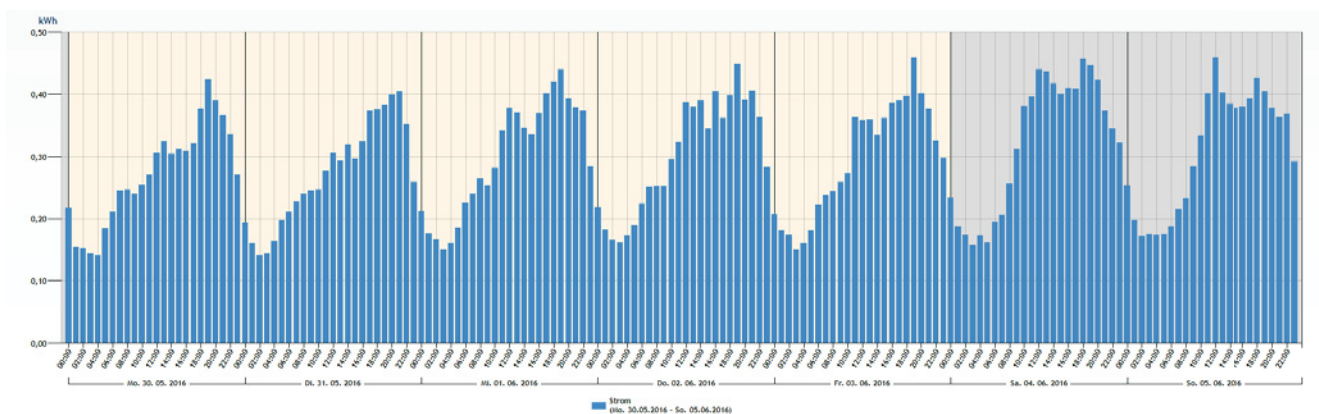


Abbildung 6.2.: Stündliche simulierte Verbrauchsdaten für den Zeitraum einer Woche, für einen 3-Personen Haushalt basierend auf dem H0-Standardlastprofil, Skalierung: 3000 kWh/a

Tabelle 6.2.: Skalierung der simulierten Jahresverbräuche

Profil	Skalierter Jahresverbrauch	Profil	Skalierter Jahresverbrauch
sg01	3000 kWh	sg11	3130 kWh
sg02	3100 kWh	sg12	2930 kWh
sg03	3100 kWh	sg13	1930 kWh
sg04	2800 kWh	sg14	2000 kWh
sg05	3600 kWh	sg15	2200 kWh
sg06	3000 kWh	sg16	1890 kWh
sg07	2750 kWh	sg17	2000 kWh
sg08	3300 kWh	sg18	2500 kWh
sg09	3360 kWh	sg19	2500 kWh
sg10	3100 kWh	sg20	2150 kWh

6.2 Ergebnisse

Langzeittest zur Erfassung der Messdaten

Die Erfassung der Messdaten für die Haushaltsprofile sg21, sg22 und sg23 erfolgte durchgängig ab November 2015. Dabei traten bisher keinerlei Probleme bei der Datenerfassung oder -übermittlung auf. Auch wenn der durchgeführte Langzeittest der SmartER-Box auf Grund von Hardware-Lieferproblemen nur an drei Haushalten durchgeführt werden konnte, zeigen die Resultate, dass sich das Konzept der Datenerfassung und -übertragung in der Praxis zuverlässig anwenden lässt.

Spielmechanik

Die Simulation der Benchmark- und Spielphase konnte erfolgreich durchgeführt werden. Alle zuvor beschriebenen Prozesse zur Berechnung der Score-Zahlen, der Energie-Kamel-Attribute, sowie der Energie-Rennen und Energie-Challenges wurden automatisiert und fehlerfrei durchgeführt. Dies gilt sowohl für die simulierten Haushaltsprofile, als auch diejenigen, welche auch realen Messdaten basieren. Damit konnte gezeigt werden, dass das Portal und die implementierten Gamification-Ansätze in der Praxis angewendet werden können.

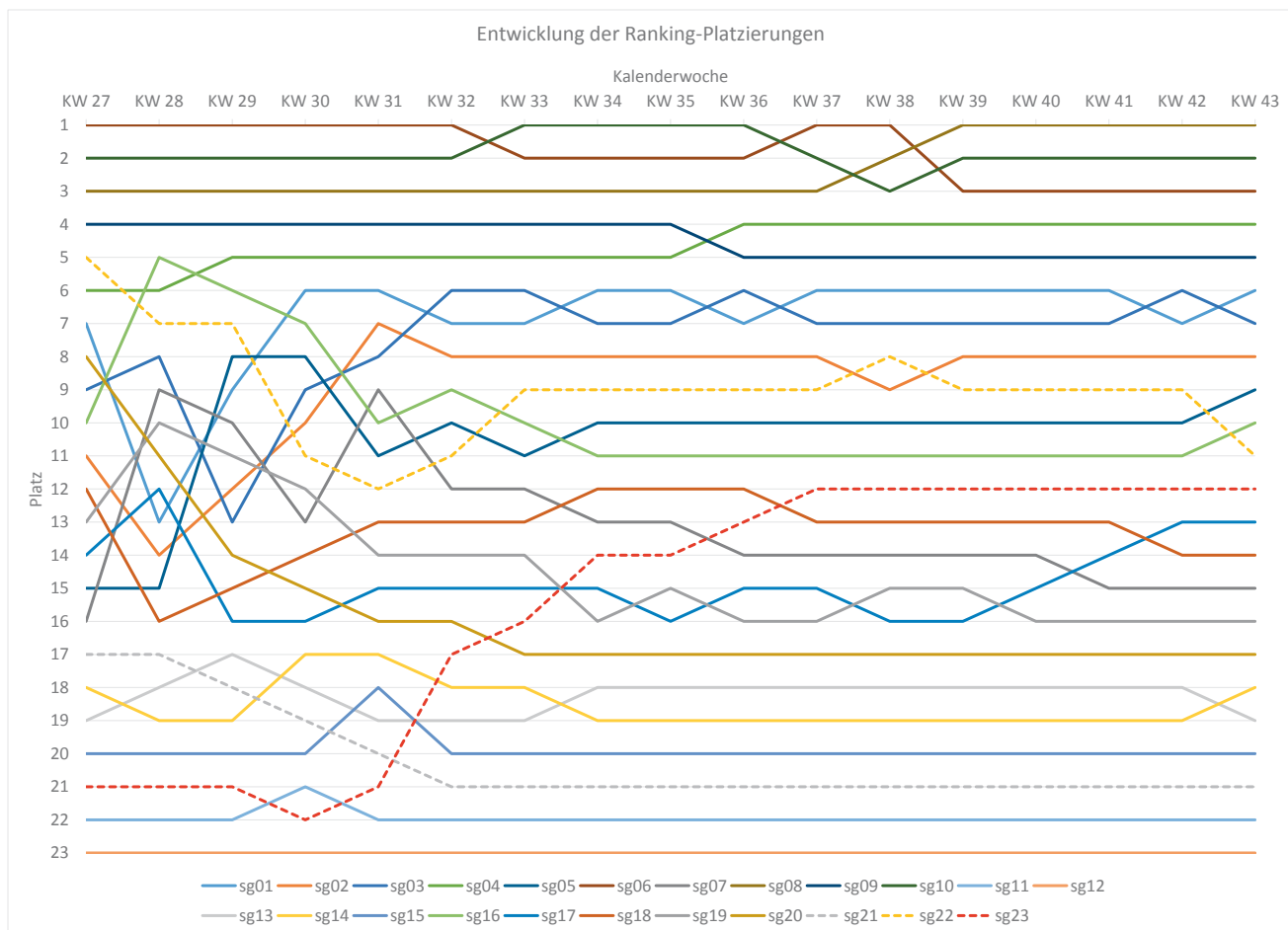


Abbildung 6.3.: Entwicklung der Ranking-Platzierungen im Verlauf der simulierten Spielphase

Abbildung 6.6 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Ranking-Platzierungen der verschiedenen Haushaltsprofile im Rahmen der Teststudie. Die auf realen Messdaten basierenden Haushaltsprofile sind zur besseren Identifizierung gestrichelt dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass es gerade zu Beginn der Spielphase häufige Platzierungswechsel gibt, bevor sich das Ranking etwas „einpendelt“. Ein Grund hierfür ist, dass es leichter ist, einen höheren Ranking-Platz zu halten, als „aufzusteigen“, da eine bessere Platzierung in der Regel bedeutet, dass auch das Energie-Kamel bessere Eigenschaften aufweist und somit die Wahrscheinlichkeit steigt, bspw. im nächsten Energie-Rennen wieder zusätzliche Punkte zu erlangen. Dieser Effekt kann durch eine größere Teilnehmerzahl abgeschwächt werden. Da die Spielphase simuliert wurde, fehlen außerdem die direkten Nutzerinteraktionen, also auch das nutzergesteuerte Bemühen um Energieeinsparungen. Insofern ist die Entwicklung des Rankings, speziell bezüglich der simulierten Haushalte, bis zu einem gewissen Grad bereits durch die vorgegebenen Messdaten determiniert. Diesen Effekt gäbe es in einer laufenden Spielphase mit realen Teilnehmern nicht.

Im Folgenden sind die Score-Zusammensetzungen für die Haushaltsprofile sg21, sg22 und sg23 (reale Messdaten) bei Ende der simulierten Spielphase dargestellt. Es sind drei sehr unterschiedliche Zusammensetzungen der Score-Zahl zu erkennen. So konnte Haushalt sg21 beispielsweise keine Punkte für Energieeinsparungen erzielen. Die Ergebnisse zeigen gut, wie die verschiedenen Spielelemente neben der reinen Einsparung von Strom zu der resultierenden Punktzahl beigetragen haben. Dies ist positiv zu bewerten, da es die in diesem Forschungsprojekt proklamierte Verbindung aus Stromeinsparung und spielerischen Anreizen unterstreicht.

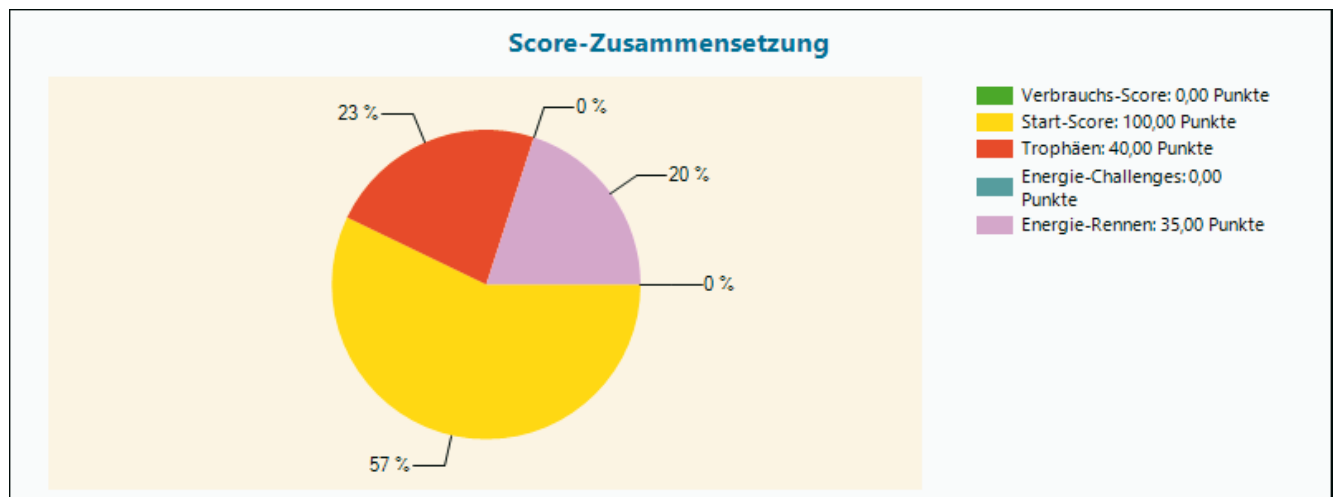


Abbildung 6.4.: Score-Zusammensetzung für Haushaltsprofil sg21 nach Abschluss der simulierten Spielphase

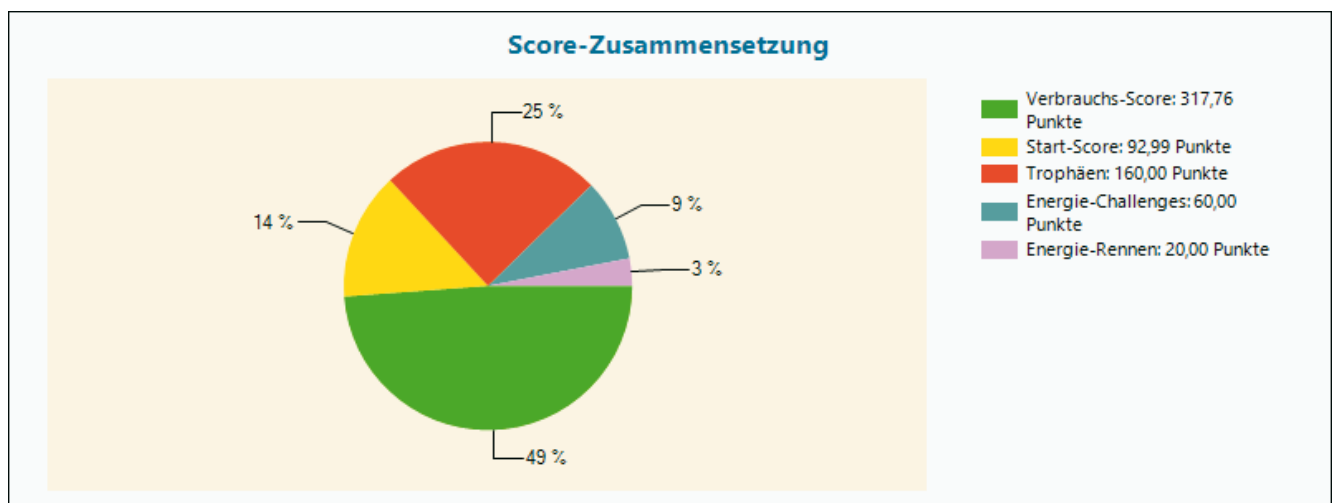


Abbildung 6.5.: Score-Zusammensetzung für Haushaltsprofil sg22 nach Abschluss der simulierten Spielphase

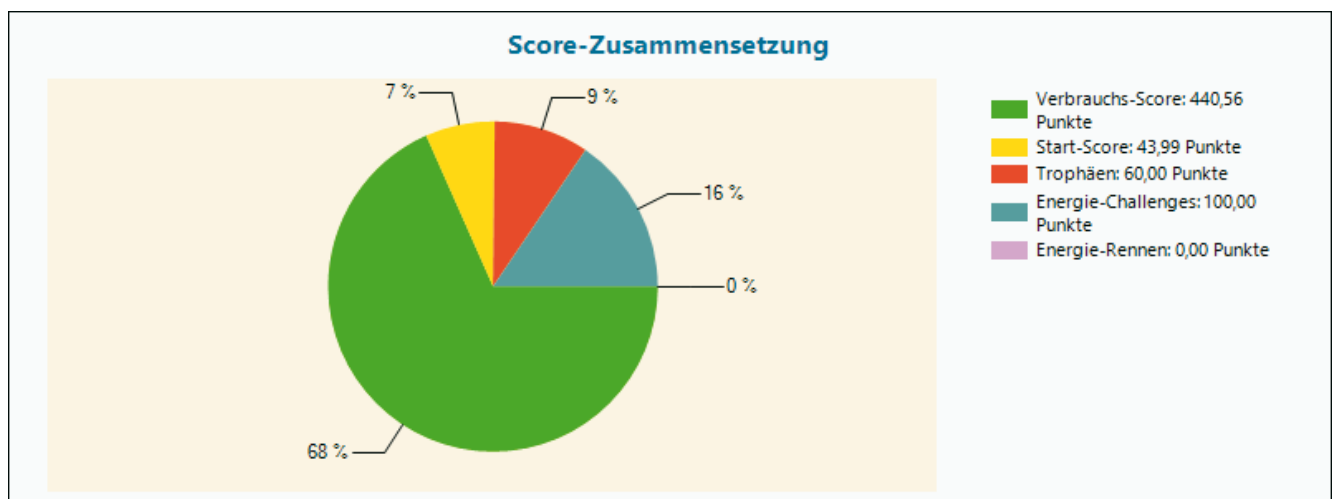


Abbildung 6.6.: Score-Zusammensetzung für Haushaltsprofil sg23 nach Abschluss der simulierten Spielphase

7 Zusammenfassung

Rund ein Viertel des deutschen Endenergieverbrauchs entfällt auf den Wohnsektor. Strategien zur Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden zielen dabei in erster Linie auf eine energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle, die Einbindung erneuerbarer Energien und den Einsatz effizienterer Anlagentechnik. Verschiedene Studien legen jedoch nahe, dass die genannten Maßnahmen lediglich einen Teil einer nachhaltigen Gesamtstrategie darstellen können. Als weiterer wichtiger Faktor wird die Sensibilisierung der Letztverbraucher für einen effizienten Umgang mit Energie und damit einhergehend eine Optimierung des Verbrauchsverhaltens betrachtet.

In diesem Zusammenhang verfolgt das Forschungsprojekt „SmartER Game“ das Ziel, eine Erhöhung der Akzeptanz von Smart Meter Technologien und eine verstärkte Sensibilisierung für energieeffizientes Verhalten zu erreichen, um so insgesamt einen Beitrag zu mehr Energieeffizienz in Privathaushalten zu leisten. Hierfür wurde ein Webportal entwickelt, welches neben einer reinen Visualisierung des Stromverbrauchs auch spielerische Elemente, im Sinne eines Serious Game, in den Monitoring- und Feedback-Prozess einbezieht. In Folge soll eine Synthese aus spielerischen Anreizen (z. B. Spaß, Wettbewerb) und „echter“ Energieeinsparung als direkter Mehrwert entstehen und gleichzeitig Rebound-Effekte minimiert werden.

Das Webportal des SmartER Game basiert auf der Energiedatenmanagement-Plattform des Projektpartners WiriTec GmbH und bietet weitreichende Möglichkeiten der Auswertung und Visualisierung der Verbrauchsdaten. Für die Datenerfassung und -übertragung wurde ein flexibler Datenlogger, die „SmartER-Box“, entwickelt. Der Datenlogger basiert auf einem Einplatinen-Computer und wird durch eine angepasste Version der Datenerfassungssoftware WiriBox® des Projektpartners betrieben. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde sich speziell auf die Einbindung analoger Ferrariszähler konzentriert, da diese derzeit noch immer die am weitesten verbreiteten Stromzähler in Privathaushalten darstellen. Die Digitalisierung der Ferrariszähler erfolgt mittels eines optischen Sensors, welcher an die SmartER-Box angeschlossen werden kann. Die Messdaten werden lokal auf der SmartER-Box gespeichert und entweder automatisiert per LAN-Anbindung auf den Messdatenserver übertragen oder manuell durch den Nutzer ausgelesen und im Webportal importiert.

Die Monitoring und Visualisierungskomponenten des Webportals wurden um verschiedene Spielelemente ergänzt. In Anlehnung an das Konzept eines Managerspiels, wurde als zentrales spielerisches Element des SmartER Games ein Avatar gewählt, welchen der Spieler verwaltet. Der Avatar dient der Repräsentation des Spielers und besitzt Eigenschaften die das Energieverbrauchsverhalten des Spielers widerspiegeln. Als Narrativ wurde ein „Energie-Kamel“ gewählt, da die Form der Kamel-Höcker entfernt an einen typischen Lastgang mit Phasen höheren und niedrigeren Verbrauchs erinnert, und da Kamele bekanntlich in der Lage sind sparsam mit der ihnen zur Verfügung stehenden Energie (Wasser) umzugehen.

Der spielerische Wettbewerb wird durch ein Haushalts-Ranking realisiert, welches auf einem speziellen Scoring-System basiert. Der grundlegende Ansatz hierbei ist es, nicht den Gesamtverbrauch eines jeden Spielers zu bewerten, sondern den Erfolg bei der Umsetzung von Ein-

sparmaßnahmen. Dieses Vorgehen wurde gewählt um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Haushalte zu erreichen. Als weitere Form des spielerischen Wettbewerbs wurde korrespondierend zum Narrativ des Energie-Kamels ein „Energie-Rennen“ (Kamelrennen) umgesetzt. Das Energie-Rennen ist ein wöchentlich stattfindender Wettbewerb bei welchem jeweils bis zu 5 Avatare gegeneinander in einem Rennen antreten. Der Rennerfolg hängt dabei von den Eigenschaften der Avatare und somit indirekt von den Energieeinsparungen der Spieler ab.

Als weitere Elemente kommen „Energie-Challenges“ und „Trophäen“, sowie ein ergänzendes Energie-Quiz zum Einsatz. Energie-Challenges sind spezielle Energieeinsparungsziele die innerhalb variierender Zeiträume durch den Spieler erreicht werden sollen. Die Challenges sollen einerseits für Abwechslung sorgen und bieten den Spielern weiterhin die Möglichkeit zusätzliche Score-Punkte für das Ranking zu erwerben. Auszeichnungen werden als virtuelle Abzeichen für das Erreichen bestimmter Spielziele vergeben. Das Energie-Quiz soll den Wissenserwerb über energiebezogene Themen fördern und so wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, die Motivation für energieeffizientes Verhalten fördern.

Der Spielablauf des SmartER Game ist in zwei Phasen unterteilt, die Benchmark-Phase und die eigentliche Spiel-Phase. Diese Aufteilung in unterschiedliche Phasen bildet die Grundlage dafür, dass das Scoring-System auf alle Spieler, unabhängig von den Randbedingungen des jeweiligen Haushalts (Größe, Anzahl Bewohner, Gebäudeart), gleichermaßen angewendet werden kann.

Nachdem sich ein Spieler für das SmartER Game registriert hat und eine SmartER Box installiert wurde, beginnt die Benchmark-Phase, welche mindestens eine Woche andauert. Während der Benchmark-Phase stehen dem Spieler keine Spiel-Komponenten zur Verfügung. Lediglich die Monitoring-Funktionen und statistische Auswertungen sind während dieser Phase verfügbar.

Das Ziel der Benchmark-Phase ist es, charakteristische Verbrauchsdaten eines Haushalts zu erfassen. Konkret bedeutet dies, dass nach Abschluss der Benchmark-Phase die mittlere Lastaufnahme, die Grundlast und das Spitzenlast-Verhältnis für den Zeitraum der Benchmark-Phase bestimmt wird (siehe 4.2.4). Diese Werte dienen fortan als persönliche Referenzwerte (Benchmarks) des jeweiligen Spielers.

In der Spiel-Phase stehen alle Funktionen des Spiels zur Verfügung. Es erfolgt eine wöchentliche Berechnung des Scores eines Spielers sowie aller weiteren Spiel-Parameter. Hierfür werden die zuvor gespeicherten Benchmark-Werte mit den korrespondierenden Werten der jeweils zurückliegenden Woche verglichen (siehe 4.2.4).

Sowohl die Datenerfassung als auch die beschriebenen Spielmechaniken wurden im Rahmen einer Teststudie evaluiert und haben sich als praxistauglich erwiesen.

An den Förderzeitraum des Projekts schließt sich eine dreijährige Betriebsphase an, in welcher das Portal mit ausgewählten Nutzergruppen weiter evaluiert werden soll. Ziel ist es, die Effekte einer gamifizierten Sicht auf das Verbrauchsverhalten der Teilnehmer zu untersuchen und das Portal weiter zu optimieren.

Literaturverzeichnis

- ABT, C. C. (1987): Serious games, University Press of America.
- AGEB (2014): "Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2013," Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- BMUB (2016): "Stromspiegel für Deutschland 2016," Co2online gemeinnützige GmbH | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMWf (2016): "Energiedaten: Gesamtausgabe, Stand 01/2016," Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- BPA (2015): "Bilanz zur Energiewende 2015," Presse- und Informationsamt der Bundesregierung.
- BÜRGER, V. (2009): "TRANSPOSE Working Paper No3: Identifikation, Quantifizierung und Systematisierung technischer und verhaltensbedingter Stromeinsparpotenziale privater Haushalte," Westfälische Wilhelms-Universität | Freie Universität Berlin (Hrsg.).
- BSI (2014): "Protection Profile for the Gateway of a Smart Metering System (Smart Meter Gateway PP)," Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.
- BUNDESNETZAGENTUR (2016): "Monitoringbericht 2015," Bundesnetzagentur | Bundeskartellamt.
- DARBY, S. ET AL. (2006): "The effectiveness of feedback on energy consumption," A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays, 486, 2006.
- DEHMEL, D. K. . C. (2010): "TRANSPOSE Working Paper No6: Einflussgrößen auf das Stromsparen im Haushalt aus psychologischer Perspektive," Westfälische Wilhelms-Universität | Freie Universität Berlin (Hrsg.).
- DETERDING, S., D. DIXON, R. KHALED, AND L. NACKE (2011): "From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification"," in Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, New York, NY, USA: ACM, MindTrek '11, 9–15.
- EHRHARDT-MARTINEZ, K., K. A. DONNELLY, S. LAITNER, ET AL. (2010): "Advanced metering initiatives and residential feedback programs: a meta-review for household electricity-saving opportunities," American Council for an Energy-Efficient Economy Washington, DC.
- FISCHER, C. (2008): "Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?" Energy efficiency, 1, 79–104.
- GIROD, B., T. LANG, AND F. NÄGELE (2014): "Abschlussbericht: Energieeffizienz in Gebäuden: Herausforderungen und Chancen für Energieversorger und Technologiehersteller," ETH Zürich.

-
- GROSSBERG, F., M. WOLFSON, S. MAZUR-STOMMEN, K. FARLEY, AND S. NADEL (2015): “Gamified Energy Efficiency Programs,” American Council for an Energy-Efficient Economy. Washington, DC, Report.
- HECKHAUSEN, H., P. M. GOLLWITZER, AND F. E. WEINERT (1987): Jenseits des Rubikon : der Wille in den Humanwissenschaften, Springer.
- IEA (2014): “Key World Energy Statistics 2014,” International Energy Agency.
- ISE (2011): “Intelliekon Ergebnisbericht – November 2011,” Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- LICHTBLICK (2015): “Verbraucher skeptisch gegenüber Smart Metern: 60 Prozent lehnen Einbaupflicht ab,” Medienmitteilung vom 03. November 2015.
- MICHIE, S., S. ASHFORD, F. F. SNIEHOTTA, S. U. DOMBROWSKI, A. BISHOP, AND D. P. FRENCH (2011): “A refined taxonomy of behaviour change techniques to help people change their physical activity and healthy eating behaviours: the CALO-RE taxonomy,” Psychology & Health, 26, 1479–1498.
- MOSLER, HANS-JOACHIM & TOBIAS, R. (2007): “Umweltpsychologische Interventionsformen neu gedacht,” Umweltpsychologie, 11, 35–54.
- PAGULAYAN, R. J., K. KEEKER, D. WIXON, R. L. ROMERO, AND T. FULLER (2002): “User-centered design in games,” .
- PRENSKY, M. (2007): Digital game-based learning, Elsevier/Morgan Kaufmann.
- SAWYER, B. AND P. SMITH (2008): “Taxonomy for Serious Games,” Digitalmil, Inc& Serious Games Initiative/Univ. of Central Florida, RETRO Lab.
- SHELL, J. (2008): The art of game design: a book of lenses., Paragon House.
- SCHWÖBEL, C. (2015): “Digitale Spielmethode zur Verbesserung des energieeffizienten Verhaltens in privaten Haushalten,” Ph.D. thesis, TU Darmstadt, Aachen, zugl.: Darmstadt, Technische Universität, Diss. 2014.
- STOLTE, C., H. MARCINEK, H. DISCHER, E. HINZ, AND A. ENSELING (2011): “dena-Sanierungsstudie. Teil 1 + 2,” Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) | Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU).
- UMWELTBUNDESAMT (2013): “Das Energiesparschwein - Informationen zum Wärmeschutz und zur Heizenergieeinsparung für Eigenheimbesitzer und Bauherren,” Umweltbundesamt - Fachgebiet Energieeffizienz.
- VOGT, G., E. DASHJA, AND W. B. KORTE (2014): “Balanced European Conservation Approach - Final Report,” Empirica Gesellschaft für Kommunikations- und Technologieforschung mbH.

A Anhang

Tabelle A.1.: Einsparpotenziale für elektrische Energie durch verhaltensgesteuerte Maßnahmen (Schwöbel, 2015), nach (Bürger, 2009)

Gerät	Maßnahme der Verhaltensveränderung	theoretisches Einsparpotenzial gesamt	Einsparpotenzial durch Verhal- tensänderung
Kühlgeräte	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstellen der Kühlgeräte in unbeheizten Räumen und nicht in der Nähe von Wärmequellen • für eine gute Belüftung und Reinigung des Kühlgitters sorgen • regelmäßiges Abtauen • keine Verwendung der Altgeräte als Zweitgerät • Energiesparfunktionen verwenden • optimierte Temperaturwahl (steigern der Temperatur von 5°C auf 7°C spart 15%) 	4,9 - 7,4 TWh/a	20-30%
Kochen	<ul style="list-style-type: none"> • Deckel auf den Topf • Kochgeschirr auf Größe der Herdplatte anpassen (Topf 1-2cm kleiner als Herdplatte erhöht Stromverbrauch um 30%) • unebene Topfböden erhöht Energieverbrauch um bis zu 40% • Schnellkochtöpfe verringern Energieverbrauch um bis zu 60% • richtiges Verhältnis Kochwasser - Gargut (Empfehlungen auf Packung beachten) • Verzicht auf Vorheizen beim Backofen: 20% Einsparung 	2,8 - 5,1 TWh/a	30-55% (geschätzt)

Tabelle A.1.: (Fortsetzung)

Gerät	Maßnahme der Verhaltensveränderung	theoretisches Einsparpotenzial gesamt	Einsparpotenzial durch Verhaltensänderung
Verzicht auf Wäschetrockner	Verzicht auf Wäschetrockner	2,8 TWh/a	theoretisches Stromeinsparpotenzial >75%
Waschmaschine	Beladungsmenge optimieren (z.B. 4,5 kg bei Maximalvolumen von 5 kg) optimierte Temperatúrauswahl (Kochwäsche 60°C, 40°C Wäsche auf 30°C)	2,7 TWh/a	30% (4+ Personen Haushalt) - 63%(Single Haushalt)
Heizungspumpe	Drosselung der Leistung bei höheren Außentemperaturen (volle Leistung nur bei sehr tiefen Temperaturen benötigt)	2,7TWh/a	20-30%
Fernseher	Vermeidung Verluste Schein-Aus-Betrieb (Stromverbrauch trotz Betätigung des Netzschalters oder nicht-Vorhandensein eines Netzschalters), Trennen vom Netz (Stecker Ziehen, Schaltbare Steckerleiste anschaffen) zusammengefasst mit Vermeidung Verluste Bereitschaftsbetrieb	2,7 TWh/a	90%
Beleuchtung	Verringerung der Gesamtbrenndauer	2,3TWh/a	20%
Computer + Zubehör Einsatz schaltbarer Steckerleisten	(Schein-Aus-Zustand)	1,3 TWh/a	-
Computer + Zubehör, Ausschalten (Stromverbrauch im Bereitschaftsbetrieb)	(Bereitschaftsbetrieb)	1,2 TWh/a	-
Waschmaschine	Anschluss an Warmwasserversorgung		50% (allerdings Einschränkungen wie bei Geschirrspülmaschine)

Tabelle A.1.: (Fortsetzung)

Gerät	Maßnahme der Verhaltensveränderung	theoretisches Einsparpotenzial gesamt	Einsparpotenzial durch Verhal- tensänderung
Geschirrspülma- schine	Anschluss an Warmwasserversorgung	0,54 TWh/a	bis 50% (bei nicht-elektrischer Wasserversorgung, allerdings Mehrverbrauch anderer Energieträger, jedoch positive Primärenergiebi- lanz)
Trockner	Erhöhung der Schleuderdrehzahl beim vorigen Waschgang von 1400 auf 1800 U/min	290 GWh/a	8%

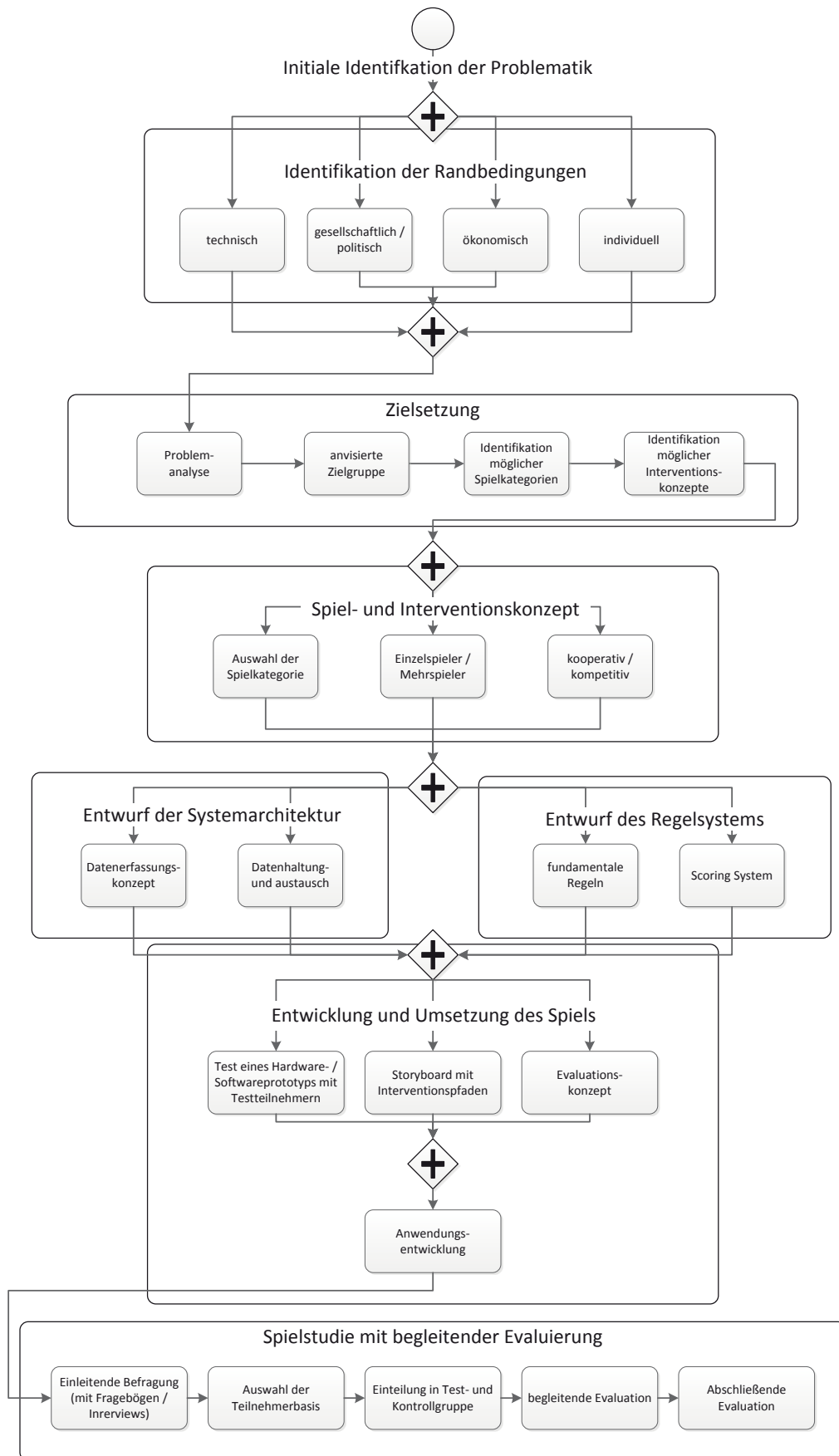


Abbildung A.1.: Prozessmodell zur Entwicklung eines zweckgebundenen digitalen Spiels nach Business Process Model and Notation Spezifikation (Schwöbel, 2015)