

Energie- und CO₂-Einsparmöglichkeiten sowie Anpassungsmöglichkeiten der Landwirtschaft bei sich stark verändernden Strom und Wärmepreisen

(Kurztitel: IE in der Landwirtschaft)

Band I

NaRoTec e.V.

Betriebshilfsdienst & Maschinenring
Höxter - Warburg e.V.
Technische Hochschule Köln

3. Zwischenbericht

01. April 2016

Gefördert vom

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Förderkennzeichen: 17-02.04.01-18/13

Kurzfassung

Die fortschreitende Entwicklung und Nutzung der erneuerbaren Energien und der daraus resultierenden Einsparung fossiler Energieträger nimmt in Deutschland einen immer höheren Stellenwert ein. Dieser langwierige Prozess, der mit zahlreichen Veränderungen und Neuerungen einhergeht, betrifft sämtliche Bereiche. Sowohl Privathaushalte, die Industrie, als auch landwirtschaftliche Betriebe. Letztere liefern mit der Erzeugung von regenerativem Strom zum Beispiel aus Biogas- oder Photovoltaikanlagen bereits einen wichtigen Beitrag zu Energiewende. An diesem Punkt setzt das Forschungsprojekt „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“ des NaRoTec e.V., des Maschinenring Höxter Warburg e.V. und der Technischen Hochschule Köln an. Das Ziel des Projekts ist es, landwirtschaftliche Betriebe im Hinblick auf die energetische Optimierung zu beraten und dadurch eine Anpassung an die Energiewende, letztlich vor allem durch die Einsparung von Energie, durchzuführen. Es wurden bei den vorherrschenden Betriebsarten Milchvieh, Sauen- und Ferkelaufzucht sowie Schweinemast an den energieintensiven Verbrauchergruppen Smart-Meter installiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden durch Analysen der installierten Zähler Informationen über den Verbrauch von verschiedenen Anlagen und Geräten gewonnen, Regelmäßigkeiten und Anpassungsmöglichkeiten im Lastverlauf aufgezeigt, die Energieeffizienz der verwendeten Anlagen und Geräte (v.a. Pumpen, Ventilatoren, Fütterungsanlagen) überprüft und anschließend Empfehlungen zur Verlagerung stromintensiver Vorgänge auf Zeiten mit geringen Strombezugskosten bzw. hoher Eigenstromproduktion formuliert. Die daraus resultierenden Erkenntnisse werden im weiteren Verlauf des Projekts als Grundlage für ein intelligentes Energiemanagement genutzt. Insgesamt konnten somit erhebliche Energieeinsparpotenziale und damit verbundene CO₂-Einsparungen aufgezeigt werden.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Inhaltsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xii
Formelverzeichnis	xiv
Abkürzungsverzeichnis	xv
1. Einleitung	1
1.1 Allgemeine Situation	1
1.2 Gesetzliche Einbindung der Smart-Meter	4
2. Projekt „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“	7
2.1 Projektbeschreibung und Ziele	7
2.2 Projektpartner und Aufgaben	11
2.2.1 NaRoTec e.V.:	11
2.2.2 Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V.:	11
2.2.3 Technische Hochschule Köln, Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien (LTRE)	11
2.3 Ansprechpartner und Kontaktdaten:	12
3. NaRoTec: Projektarbeiten und Stand des Projektes	13
3.1 Koordinierung des Projektes, Öffentlichkeitsarbeit und fachliche Begleitung	13
3.2 Tagungen und Veranstaltungen	14
3.3 Verlängerung der Projektlaufzeit	15
4. MR Höxter-Warburg: Betriebsauswahl und Zählereinbau mit den BeSte-Stadtwerken	17
4.1 Auswahl und Datenerfassung bei den Betrieben mit RWE- und BeSte-Stadtwerke-Zählern	17
4.1.1 Auswahl der Betriebe in Zusammenarbeit mit der LWK NRW	17
4.1.2 Auswahl der Betriebe beim BHD & MR Höxter-Warburg und Ausstattung mit Smart-Metern der BeSte-Stadtwerken	19
4.1.3 Übersicht über die beteiligten Betriebe und Zähler	21

4.1.4	Datenerfassung und -übertragung durch RWE -----	22 -
4.1.5	Datenerfassung und Datenübertragung bei den Betrieben des Betriebshilfsdienstes und Maschinenringes Höxter- Warburg e.V. über die Datenbank der BeSte Stadtwerke-----	22 -
5.	TH Köln: Datenspeicherung und Auswertung der Energieverbrauchsdaten -----	25 -
5.1	<i>Grundlagen Energieverbrauchsanalyse -----</i>	25 -
5.1.1	Messdaten -----	26 -
5.1.2	Betriebsdaten -----	30 -
5.1.3	Wetterdaten-----	31 -
5.2	<i>Aufbau der Datenbank -----</i>	32 -
5.2.1	Wahl eines Datenbanksystems -----	33 -
5.2.2	Aufbau der Datenstruktur-----	33 -
5.2.3	Entwicklung eines Analyse- Tools -----	36 -
5.3	<i>Wärmemengennachweis mit einem Hybrid Ultraschall-Durchflussmessgerät-----</i>	45 -
5.3.1	Projekt anlegen und Parameter einstellen-----	46 -
5.3.2	Auswahl der Sensoren und Sensoranordnung -----	46 -
5.3.3	Anbringen der Sensoren-----	48 -
5.3.4	Anbringen der Temperatur Sensoren -----	48 -
5.3.5	Messung einstellen -----	49 -
6.	Exemplarische Auswertung, Darstellung und Analyse der Stromverbrauchsdaten -----	51 -
6.1	<i>Erläuterung der Stallarten und ihrer Hauptstromverbraucher -----</i>	51 -
6.1.1	Milchviehbetriebe-----	51 -
6.1.2	Sauen- und Ferkelaufzuchtbetriebe -----	54 -
6.1.3	Schweinemastbetriebe -----	58 -
6.2	<i>Ziele und Möglichkeiten der Energieverbrauchsdatenanalyse -----</i>	62 -
6.3	<i>Auswertung und Darstellung der Wärmemengendaten -----</i>	64 -
6.4	<i>Bewertung der Ergebnisse aus Wärmemengenmessung -----</i>	66 -
6.5	<i>Auswertung und Darstellung der Stromverbrauchsdaten (RWE) -----</i>	67 -
6.5.1	RWE1 – 2014 und 2015 -----	67 -
6.5.1.1	RWE1 - Sauenstall -----	69 -
6.5.1.2	RWE1 - Ferkelaufzuchtstall-----	85 -
6.5.2	RWE2 – 2014 und 2015 -----	96 -
6.5.2.1	RWE2 - Sauenstall -----	98 -
6.5.2.2	RWE2 – Ferkelaufzuchtstall -----	113 -
6.5.3	RWE4 – 2014 und 2015 -----	126 -
6.5.3.1	RWE4 - Sauenstall -----	127 -

Inhaltsverzeichnis

6.5.3.2	<i>RWE4 – Ferkelaufzuchtstall</i>	- 137 -
6.6	<i>Bewertung der Ergebnisse aus Stromverbrauchsdatenmessung</i>	- 145 -
6.6.1	Empfehlungen für energieeffiziente Komponenten	- 148 -
6.6.2	Lastverschiebepotentiale in den untersuchten Betrieben	- 153 -
6.6.3	Unregelmäßigkeiten des Stromverbrauchs	- 155 -
7.	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt und Ableitung allgemeiner Empfehlungen	- 158 -
7.1	<i>Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt</i>	- 158 -
7.2	<i>Ableitung allgemeiner Empfehlungen</i>	- 159 -
8.	Fazit und Ausblick	- 160 -
9.	Literaturverzeichnis	- 161 -
	Anhang A: Plausibilitätsprüfung	- 164 -
	Anhang B: RWE1	- 165 -
	<i>RWE1 SA – Lüftung</i>	- 165 -
	<i>RWE1 SA – Beleuchtung</i>	- 172 -
	<i>RWE1 SA – Rotlicht im Deckzentrum</i>	- 177 -
	<i>RWE1 SA - Fütterung</i>	- 178 -
	<i>RWE1 FE – Lüftung</i>	- 179 -
	<i>RWE1 FE – Beleuchtung</i>	- 186 -
	<i>RWE1 FE – Fütterung</i>	- 191 -
	Anhang C: RWE2	- 192 -
	<i>RWE2 SA-Lüftung</i>	- 192 -
	<i>RWE2 SA-Beleuchtung</i>	- 196 -
	<i>RWE2 SA-Sonstiges</i>	- 201 -
	<i>RWE2 SA-Fütterung</i>	- 204 -
	<i>RWE2 FE-Lüftung</i>	- 205 -
	<i>RWE2 FE-Beleuchtung</i>	- 212 -
	<i>RWE2 FE-Fütterung</i>	- 217 -
	Anhang D: RWE4	- 218 -

<i>RWE4 SA-Lüftung</i>	- 218 -
<i>RWE4 SA-Fütterung</i>	- 225 -
<i>RWE4 FE-Lüftung</i>	- 226 -
<i>RWE4 FE-Fütterung</i>	- 233 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimaschutzlogo NRW	- 1 -
Abbildung 2: Deutsche und europäische Ziele bei Erneuerbaren Energien [1]	- 2 -
Abbildung 3: Teibhausgasemissionen nach Quelle [3]	- 3 -
Abbildung 4: Beispiel einer CSV- Datei	- 27 -
Abbildung 5: CSV- Preprocessor	- 28 -
Abbildung 6: Auf den Datenbankimport vorbereitete CSV- Datei	- 29 -
Abbildung 7: Flussdiagramm des CSV- Preprocessors zum Einlesen der Zählerdaten	- 29 -
Abbildung 8: Teil des Erfassungsbogens für Betriebsdaten	- 30 -
Abbildung 9: Karte der Wetterstation	- 31 -
Abbildung 10: Relationsschema	- 34 -
Abbildung 11: Datenbank-ER-Diagramm (Vollständig)	- 36 -
Abbildung 12: Registerkarte "Betriebe"	- 37 -
Abbildung 13: Registerkarte "Zeitraum"	- 38 -
Abbildung 14: Registerkarte "Diagramme"	- 39 -
Abbildung 15: Flussdiagramm zur Arbeitsweise des Analyse-Tools	- 40 -
Abbildung 16: Wochenbezogener Lastgang	- 41 -
Abbildung 17: Registerkarte „Plausibilität“	- 42 -
Abbildung 18: Registerkarte „Lastprofil“	- 43 -
Abbildung 19: Ein- und Auslaufstreck	- 45 -
Abbildung 20: Sensoren am Projektstandort	- 46 -
Abbildung 21: V-Anordnung der Sensorköpfe	- 47 -
Abbildung 22: Ausrichtungsmarkierungen an den Sensoren	- 47 -
Abbildung 23: Kopplungsgel auf den Sensoren	- 48 -
Abbildung 24: Verlegen der Sensorkabel	- 48 -
Abbildung 25: Montage der Temperatursensoren	- 49 -
Abbildung 26: Energieanzeige	- 50 -
Abbildung 27: Durchflussanzeige	- 50 -
Abbildung 28: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Milchviehhaltung [6]	- 51 -
Abbildung 29: Standardlastprofil eines Milchviehbetriebs [8]	- 53 -
Abbildung 30: Schema von Sauen- und Ferkelaufzuchtbetrieben (eigene Darstellung nach [12])	- 55 -
Abbildung 31: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Ferkelerzeugung mit geschlossenem, zwangsbelüftetem Stall [6]	- 55 -
Abbildung 32: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Ferkelaufzucht mit geschlossenem, zwangsbelüftetem Stall und Wärmerückgewinnung [6]	- 56 -
Abbildung 33: Standardlastprofil Landwirtschaft ohne Milchvieh [8]	- 58 -

Abbildung 34: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Schweinemast ohne Abluftreinigung in einem geschlossenen, zwangsbelüfteten Stall [6] - 59	-
Abbildung 35: Typischer Lastgang in der Schweinemast mit Trockenfütterung [9]-----	60 -
Abbildung 36: Typischer Lastgang in der Schweinemast mit Flüssigfütterung [9]-----	61 -
Abbildung 37: BeSte3 – Wärmeleistung am 17.04.15 -----	66 -
Abbildung 38: RWE1 – Gemitteltes Tageslastprofil aus Sauen- und Ferkelaufzucht 2014 und 2015 -	68
-	
Abbildung 39: RWE1 - Jahresverbrauch nach Stallart 2014 und 2015-----	69 -
Abbildung 40: RWE1 – Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2014 -----	71 -
Abbildung 41: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2014-----	72 -
Abbildung 42: RWE1 – Gemittelte Lastprofile aus Sauenhaltung 2015 -----	72 -
Abbildung 43: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2015-----	73 -
Abbildung 44: RWE1–SA Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015-----	81 -
Abbildung 45: RWE1–SA Rotlicht im Deckzentrum Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	82 -
Abbildung 46: RWE1–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	84 -
Abbildung 47: RWE1 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2014-----	86 -
Abbildung 48: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2014-----	87 -
Abbildung 49: RWE1 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2015-----	88 -
Abbildung 50: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2015-----	88 -
Abbildung 51: RWE1–FE Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015-----	94 -
Abbildung 52: RWE1–FE Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	95 -
Abbildung 53: RWE2 – Gemitteltes Lastprofil aus Sauen- und Ferkelaufzucht 2014 und 2015 -----	97 -
Abbildung 54: RWE2 - Jahresverbrauch nach Stallart 2014 und 2015-----	98 -
Abbildung 55: RWE2– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2014 -----	99 -
Abbildung 56: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2014-----	100 -
Abbildung 57: RWE2– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung ohne Messpunkt S2 2015 -	101 -
Abbildung 58: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2015-----	102 -
Abbildung 59: RWE2–SA Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015-----	107 -
Abbildung 60: RWE2–SA Sonstiges Monatsverbrauch 2014 und 2015-----	109 -
Abbildung 61: RWE2 – SA Fütterung am 18.01.2014 -----	111 -
Abbildung 62: RWE2–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	112 -
Abbildung 63: RWE2 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2014-----	114 -
Abbildung 64: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2014-----	115 -
Abbildung 65: RWE2 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2015-----	116 -
Abbildung 66: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2015-----	116 -
Abbildung 67: RWE2–FE Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	122 -
Abbildung 68: RWE2 – FE Fütterung am 18.01.2014 -----	124 -
Abbildung 69: RWE2–FE Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	124 -

Abbildung 70: RWE4 – Gemitteltes Lastprofil aus Sauen- und Ferkelaufzucht 2014 und 2015 ---	- 126 -
Abbildung 71: RWE4 - Jahresverbrauch nach Stallart 2014 und 2015-----	- 127 -
Abbildung 72: : RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2014 -----	- 128 -
Abbildung 73: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2014-----	- 129 -
Abbildung 74: RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2015 -----	- 129 -
Abbildung 75: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2015-----	- 130 -
Abbildung 76: RWE4–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	- 136 -
Abbildung 77: RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Ferkelaufzucht 2014-----	- 138 -
Abbildung 78: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2014-----	- 138 -
Abbildung 79: RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Ferkelaufzucht 2015-----	- 139 -
Abbildung 80: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2015-----	- 139 -
Abbildung 81: RWE4–FE Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015 -----	- 144 -
Abbildung 82: Vergleich der Aufnahmeleistung verschiedener Regelungsvarianten von Ventilatoren [ZIEHL-ABEGG AG] -----	- 150 -
Abbildung 83: Lastverschiebung am Beispiel RWE1-SA Fütterung-----	- 154 -
Abbildung 84: Lastverschiebung am Beispiel RWE4-SA Fütterung -----	- 155 -
Abbildung 85: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014-----	- 165 -
Abbildung 86: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015-----	- 165 -
Abbildung 87: RWE1-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014 -----	- 166 -
Abbildung 88: RWE1-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015 -----	- 166 -
Abbildung 89: RWE1-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014 -----	- 167 -
Abbildung 90: RWE1-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015 -----	- 167 -
Abbildung 91: RWE1-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2014 -----	- 168 -
Abbildung 92: RWE1-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2015 -----	- 168 -
Abbildung 93: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014 -----	- 172 -
Abbildung 94: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015 -----	- 172 -
Abbildung 95: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Rotlicht im Deckzentrum 2014-	- 177 -
Abbildung 96: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Rotlicht im Deckzentrum 2015 im Vergleich mit Messtagen -----	- 177 -
Abbildung 97: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014-----	- 178 -
Abbildung 98: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015-----	- 178 -
Abbildung 99: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014 -----	- 179 -
Abbildung 100: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015 -----	- 179 -
Abbildung 101: RWE1-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014 -----	- 180 -
Abbildung 102: RWE1-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015 -----	- 180 -
Abbildung 103: RWE1-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014-----	- 181 -
Abbildung 104: RWE1-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015-----	- 181 -
Abbildung 105: RWE1-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2014-----	- 182 -
Abbildung 106: RWE1-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2015-----	- 182 -

Abbildung 107: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014-----	186 -
Abbildung 108: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015-----	186 -
Abbildung 109: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014 -----	191 -
Abbildung 110: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015 -----	191 -
Abbildung 111: RWE2-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014 -----	192 -
Abbildung 112: RWE2-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015 -----	192 -
Abbildung 113: RWE2-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014-----	193 -
Abbildung 114: RWE2-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015-----	193 -
Abbildung 115: RWE2-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014 -----	194 -
Abbildung 116: RWE2-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015 -----	194 -
Abbildung 117: RWE2-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2014 -----	195 -
Abbildung 118: RWE2-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2015 -----	195 -
Abbildung 119: RWE2-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014 -----	196 -
Abbildung 120: RWE2-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015 -----	196 -
Abbildung 121: RWE2-SA Gemitteltes Tageslastprofil Sonstiges 2014-----	201 -
Abbildung 122: RWE2-SA Gemitteltes Tageslastprofil Sonstiges 2015-----	201 -
Abbildung 123: RWE2-SA Gemitteltes Tageslastprofil Fütterung 2014 -----	204 -
Abbildung 124: RWE2-SA Gemitteltes Tageslastprofil Fütterung 2015 -----	204 -
Abbildung 125: RWE2-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014 -----	205 -
Abbildung 126: RWE2-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015 -----	205 -
Abbildung 127: RWE2-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014-----	206 -
Abbildung 128: RWE2-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015-----	206 -
Abbildung 129: RWE2-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014-----	207 -
Abbildung 130: RWE2-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015-----	207 -
Abbildung 131: RWE2-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2014-----	208 -
Abbildung 132: RWE2-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2015-----	208 -
Abbildung 133: RWE2-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014-----	212 -
Abbildung 134: RWE2-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015-----	212 -
Abbildung 135: RWE2-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014 -----	217 -
Abbildung 136: RWE2-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015 -----	217 -
Abbildung 137: RWE4-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014 -----	218 -
Abbildung 138: RWE4-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015 -----	218 -
Abbildung 139: RWE4-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014-----	219 -
Abbildung 140: RWE4-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015-----	219 -
Abbildung 141: RWE4-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014 -----	220 -
Abbildung 142: RWE4-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015 -----	220 -
Abbildung 143: RWE4-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2014 -----	221 -
Abbildung 144: RWE4-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2015 -----	221 -
Abbildung 145: RWE4-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014 -----	225 -

Abbildung 146: RWE4-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015	225 -
Abbildung 147: RWE4-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014	226 -
Abbildung 148: RWE4-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015	226 -
Abbildung 149: RWE4-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014	227 -
Abbildung 150: RWE4-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015	227 -
Abbildung 151: RWE4-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014.....	228 -
Abbildung 152: RWE4-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015.....	228 -
Abbildung 153: RWE4-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2014.....	229 -
Abbildung 154: RWE4-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2015.....	229 -
Abbildung 155: RWE4-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014	233 -
Abbildung 156: RWE4-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015	233 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Übersicht Tagungen, Veranstaltungen und Projekttreffen-----	14 -
Tabelle 4.1: Übersicht Betriebe und Zähler -----	21 -
Tabelle 5.1: Übersicht Betriebe und Wetterstationen-----	32 -
Tabelle 5.2: Daten, die in der Datenbank erfasst werden sollen-----	33 -
Tabelle 5.3: Auswahl der Sensoranordnung -----	47 -
Tabelle 6.1: Größen zur Berechnung der Wärmeleistung -----	65 -
Tabelle 6.2: Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse aus Wärmemengenmessung -----	66 -
Tabelle 6.3: RWE-Betriebe und deren Messpunkte -----	67 -
Tabelle 6.4: RWE1 - Betriebsdaten Sauenstall-----	70 -
Tabelle 6.5: RWE1-SA: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen -----	74 -
Tabelle 6.6: RWE1-SA Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	77 -
Tabelle 6.7: RWE1-SA Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015 -----	79 -
Tabelle 6.8: RWE1-SA Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	81 -
Tabelle 6.9: RWE1-SA Rotlicht: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	83 -
Tabelle 6.10: RWE1-SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015-----	84 -
Tabelle 6.11: RWE1 - Betriebsdaten Ferkelaufzucht -----	85 -
Tabelle 6.12: RWE1-FE: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen-----	89 -
Tabelle 6.13: RWE1-FE Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	91 -
Tabelle 6.14: RWE1-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015 -----	92 -
Tabelle 6.15: RWE1-FE Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	94 -
Tabelle 6.16: RWE1-FE Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	96 -
Tabelle 6.17: RWE2 - Betriebsdaten Sauenstall -----	98 -
Tabelle 6.18: RWE2-SA: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen -----	103 -
Tabelle 6.19: RWE2-SA Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	105 -
Tabelle 6.20: RWE2-SA Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	107 -
Tabelle 6.21: RWE2-SA Sonstiges: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	110 -
Tabelle 6.22: RWE2-SA Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	112 -
Tabelle 6.23: RWE2 - Betriebsdaten Ferkelaufzuchtstall-----	113 -
Tabelle 6.24: RWE2-FE: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen-----	117 -
Tabelle 6.25: RWE2-FE Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	120 -
Tabelle 6.26: RWE2-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015 -----	121 -
Tabelle 6.27: RWE2-FE Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	123 -
Tabelle 6.28: RWE2-FE Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	125 -
Tabelle 6.29: RWE4 - Betriebsdaten Sauenstall -----	128 -

Tabelle 6.30: RWE4-SA: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen -----	131 -
Tabelle 6.31: RWE4-SA Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	133 -
Tabelle 6.32: RWE1-SA Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015 -----	136 -
Tabelle 6.33: RWE4 - Betriebsdaten Ferkelaufzucht -----	137 -
Tabelle 6.34: RWE4-FE: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen-----	140 -
Tabelle 6.35: RWE4-FE Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	142 -
Tabelle 6.36: RWE4-FE Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015-----	144 -
Tabelle 6.37: Übersicht der technischen Ausstattung der untersuchten Betriebe -----	145 -
Tabelle 6.38: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in kWh/TP*a -----	146 -
Tabelle 6.39: LED-Beispielrechnung RWE1-Ferkelaufzucht nach [16] -----	151 -
Tabelle 6.40: LED-Beispielrechnung RWE1-Sauenstall, Abferkelbereich nach [16] -----	152 -
Tabelle 6.41: Ermitteltes Lastverschiebepotential in die Sonnenzeit-----	154 -
Tabelle 0.1: RWE1-SA Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2014 -----	173 -
Tabelle 0.2: RWE1-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2014 -----	187 -
Tabelle 0.1: RWE2-SA Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015 -----	197 -
Tabelle 0.2: RWE2-SA Sonstiges: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015 -----	202 -
Tabelle 0.3: RWE2-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015 -----	213 -

Formelverzeichnis

Formel 1: Wärmeleistung	- 65 -
Formel 2: Wärmemenge	- 65 -

Abkürzungsverzeichnis

BeSte	Kommunale Stadtwerke der Städte B everungen, S teinheim, Bad Driburg, Borgentreich und Warburg
BHD	Betriebshilfsdienst
ct	Eurocent
CSV	Datenformat, Werte durch Komma separiert
DB	Datenbank
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
eHZ	elektronische Haushaltszähler
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
GSM	Datenübertragungsformat im Mobilfunknetz
GPRS	Datenübertragungsformat im Mobilfunknetz
kW	Kilowatt
kWh	Arbeit, Kilowattstunde
kW/h	Leistung, Kilowatt je Stunde
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
LWK	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
MDL	Messstellendienstleister
MR	Maschinenring
MSB	Messstellenbetreiber
MUC	Multi Utility Communication (Datenlogger)
MySQL	Open-Source Datenbanksystem
RLM	Registrierenden Lastgangmessungen
RWE	<i>Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG</i> , Essen
Smart-Grid	Intelligentes Netz
Smart-Meter	Intelligenter Stromzähler
SQL	Strukturierte Abfragesprache für Datenbanken
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
THG	Treibhausgas
UMTS	Datenübertragungsformat im Mobilfunknetz

Abkürzungen und Schlüssel der Messpunkte im Projekt „IE in der Landwirtschaft“

B1	Beleuchtung in der Ferkelaufzucht
B2	Beleuchtung in der Sauenhaltung
B3	Rotlicht im Deckzentrum
F1	Fütterung in der Ferkelaufzucht
F2	Fütterung in der Sauenhaltung
FE	Ferkelaufzuchtstall
L1	Lüftung in der Ferkelaufzucht
L2	Lüftung in der Sauenhaltung
S1	Sonstiges in der Ferkelaufzucht
S2	Sonstiges in der Sauenhaltung
SA	Sauenstall
TP	Tierplatz

1. Einleitung

1.1 Allgemeine Situation

Spätestens seit den IPCC-Berichten, die einen drohenden Klimawandel prognostizieren, bekommt die Frage der fossilen Energieversorgung eine neue Bedeutung. Weiterhin war der fossile Energiemarkt durch kontinuierliche Preissteigerungen bedingt durch höhere Rohstoffkosten gekennzeichnet. Diese Situation hat sich seit einem Jahr extrem verändert, indem der Rohölpreis auf ein nicht vorstellbares Tief gefallen ist. Dies hat den Strompreis für kleine und mittelgroße Abnehmer aber nur unwesentlich beeinflusst.

Deutschland hat als einer der Vorreiter den Weg in eine alternative Energieversorgung mit erneuerbaren Energien eingeschlagen. 1991 wurde das erste Energieeinspeisegesetz verabschiedet, das mit dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) ab 2000 und deren Fortentwicklungen deutlich einspeisefeundlicher ausgestaltet wurde und differenziertere Tarife für die einzelnen erneuerbaren Energien brachte. Ein wichtiger Schritt im EEG war bei der Biomasse 2004 die Einführung von nachwachsenden Rohstoffen und ein Wärmebonus, die der Entwicklung im Biogasbereich einen starken Schub gebracht haben. Leider hat das letzte EEG von 2014 diese Entwicklung zum Erliegen gebracht.



Abbildung 1:
Klimaschutzlogo NRW

Das Land NRW setzt sich sehr stark mit dem Thema Klimaschutz auseinander und hat am 23. Januar 2013 als erster deutscher Bundesstaat ein Klimaschutzgesetz mit gesetzlich festgelegten Klimaschutzzielen verabschiedet. Die Umsetzung wird durch viele Arbeitskreise, Projekte und öffentliche Beteiligungen vorangetrieben.

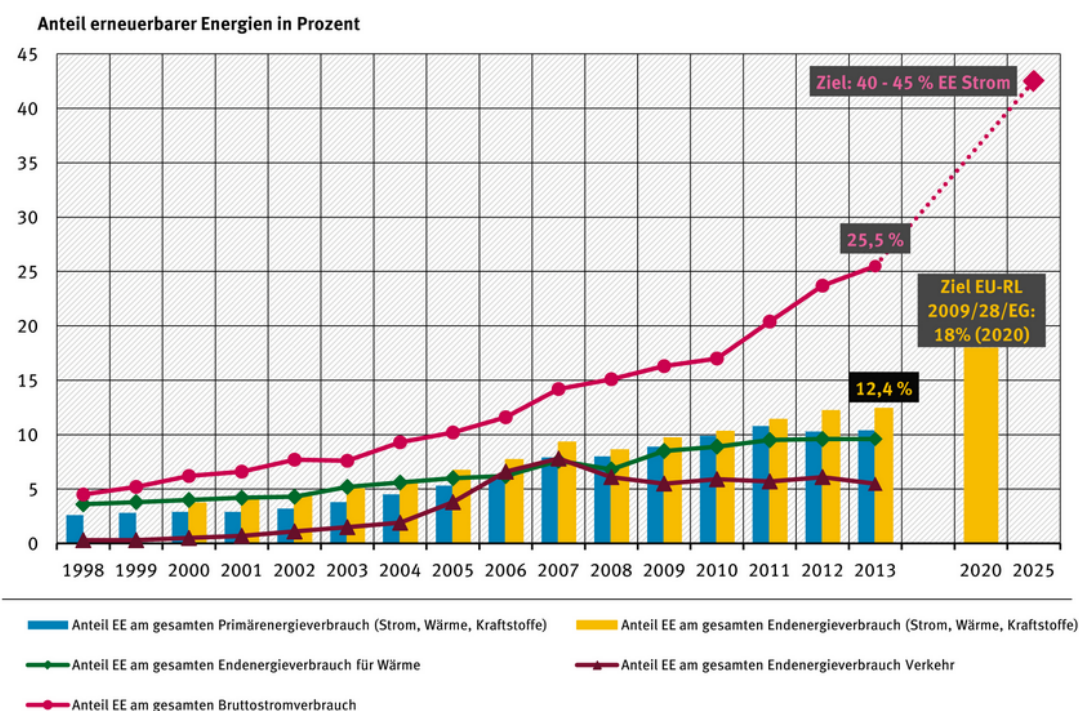
Deutschland hat sich bei den Ausbauzielen für Erneuerbare Energien hohe Vorgaben gesetzt. Diese sind nach einem aktuellen Artikel des DBU folgendermaßen formuliert:

„Deutschland und die Europäische Union (EU) haben zum Ausbau der erneuerbaren Energieträger konkrete Ziele festgelegt. Der EU-Ministerrat hat im März 2007 beschlossen, den Anteil aller erneuerbarer Energien (Strom,

Wärme und Kraftstoffe) am Brutto-Endenergieverbrauch in der Staatengemeinschaft bis zum Jahr 2020 auf 20 Prozent (%) anzuheben (vgl. Beschluss des EU-Ministerrats). Mit der 2009 in Kraft getretenen EU-Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen wurde dieses europäische Gesamtziel in nationale Ausbauziele überführt. Der Anteil aller erneuerbaren Energien am Brutto-Endenergieverbrauch in Deutschland soll demnach bis 2020 auf 18 % steigen.

Die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung von 2002 hatte das Ziel formuliert, bis 2010 gegenüber 2000 einen Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch von 4,2 % zu erreichen. Dieser Zielwert wurde 2008 bereits um 3,9 Prozentpunkte übertroffen. Im Jahr 2010 lag der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieverbrauch bei 9,9 %. Bis 2050 sollen die erneuerbaren Energien einen Anteil am Primärenergieverbrauch von mindestens 50 % erreicht haben.

Das 2010 verabschiedete Energiekonzept der Bundesregierung legt als Ziele für die Jahre nach 2020 folgende Anteile erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch fest: 30 % bis 2030, 45 % bis 2040, 60 % bis 2050.“ [1]



*ohne Flugbenzin

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand 01/2015

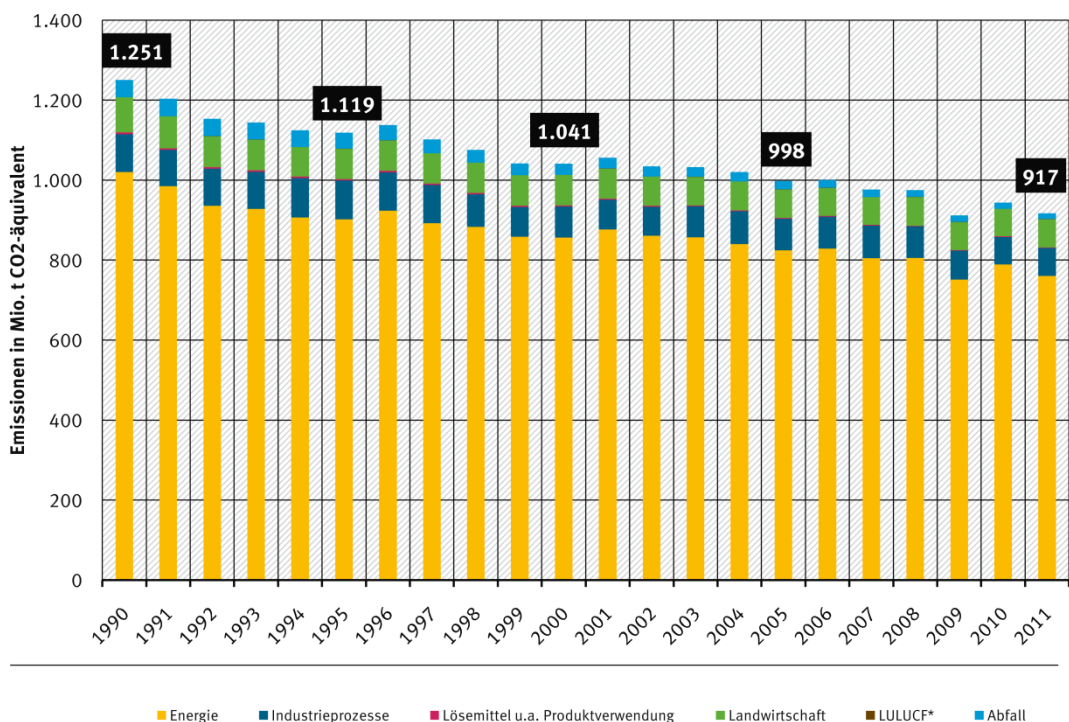
Abbildung 2: Deutsche und europäische Ziele bei Erneuerbaren Energien [1]

Derzeit ist zu erkennen, dass die Wärmeziele den Stromzielen deutlich hinterherhinken. Weiterhin wird die Frage eines intelligenten Netzmanagements (Smart-Grid) und Netzausbaus intensiv diskutiert. Letztendlich wird sich aber auch der Verbraucher bei einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien an die Angebotssituation des Stromes anpassen müssen. Da bei vielen Prozessen die Stromproduktion direkt mit der Wärmeproduktion gekoppelt ist, ist es ebenfalls Ziel, diese Wärme besser zu nutzen. Hierzu unternimmt NRW gerade einen Vorstoß beim Bund. [2]

Schaut man auf die Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, so liegen die Schwergewichte bei der Branche der Energieerzeugung und hier speziell bei der Kohle und Braunkohle. Nichtsdestotrotz ist die Landwirtschaft mit einem Anteil von rund 11 % in einer ähnlichen Größenordnung wie die Industrie an den THG-Emissionen beteiligt.

Treibhausgas-Emissionen in Deutschland

nach Quelle



*ohne Emissionen von CO₂ aus LULUCF

Quelle: Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2011, Umweltbundesamt 2013

Abbildung 3: Teibhausgasemissionen nach Quelle [3]

1.2 Gesetzliche Einbindung der Smart-Meter

In einem Wikipedia-Artikel ist die Gesetzeslage in kürze dargestellt:

Europäische Regelungen

„Eine der Grundlagen für Smart Metering ist die Europäische Richtlinie zu Energieeffizienz und Energiedienstleistungen (EDL 2006/32/EG) Artikel 13, in welcher es heißt: „Die Abrechnung auf der Grundlage des tatsächlichen Verbrauchs wird so häufig durchgeführt, dass die Kunden in der Lage sind, ihren eigenen Energieverbrauch zu steuern“. Die Richtlinie richtete sich auf die Förderung des Einsatzes von mehrdirektionalen elektronischen Messeinrichtungen. Die Einbeziehung von allen Beteiligten der Energieerzeugung, Übertragung und des Verbrauchs soll eine optimale Nutzung der vorhandenen Ressourcen fördern. Weiteres Ziel war, den Verbrauchern zumindest vierteljährliche Energieverbrauchsdaten zur Verfügung stellen zu können, damit diese stärker ihren eigenen Verbrauch kontrollieren und steuern können.

Zweite und deutlich detailliertere Grundlage ist die Europäische Energiebinnenmarktrichtlinie 2009/72/EG, in der der Aufbau von Smart Metering Infrastrukturen in den Mitgliedstaaten vorgesehen ist. Hierzu heißt es in Anhang I Nr. 2: „Die Mitgliedstaaten gewährleisten, dass intelligente Messsysteme eingeführt werden, durch die die aktive Beteiligung der Verbraucher am Stromversorgungsmarkt unterstützt wird. Die Einführung dieser Messsysteme kann einer wirtschaftlichen Bewertung unterliegen, bei der alle langfristigen Kosten und Vorteile für den Markt und die einzelnen Verbraucher geprüft werden sowie untersucht wird, welche Art des intelligenten Messens wirtschaftlich vertretbar und kostengünstig ist und in welchem zeitlichen Rahmen die Einführung praktisch möglich ist. (...) Wird die Einführung intelligenter Zähler positiv bewertet, so werden mindestens 80 % der Verbraucher bis 2020 mit intelligenten Messsystemen ausgestattet.“

Diese wirtschaftliche Bewertung hat das Bundeswirtschaftsministerium in Form der im Juli 2013 vorgelegten Kosten-Nutzen-Analyse („KNA“) von Ernst & Young durchgeführt.“ [4]

Deutsche Gesetzeslage

„In Deutschland bestehen bereits vereinzelte Regelungen zu Intelligenten Zählern in den §§ 21c – 21i EnWG. Die genaue Ausgestaltung sollte in einem Paket von Verordnungen erfolgen. Stattdessen wurde im September 2015 ein Entwurf für ein „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ vorgelegt. Der darin enthalten Entwurf für ein Messstellenbetriebsgesetz soll die alten Bestimmungen ablösen.

In Deutschland wird in § 21c EnWG der Einbau intelligenter Zähler („Messeinrichtungen, die dem jeweiligen Anschlussnutzer den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln“) für Neubauten und grundsanierte Gebäude seit dem 1. Januar 2010 (ursprünglich in § 21b Abs. 3a und 3b EnWG) vorgeschrieben. Seit spätestens 30. Dezember 2010 müssen gemäß § 40 Abs. 3 EnWG dem Endverbraucher zusätzlich Tarife angeboten werden, die einen Anreiz zur Energieeinsparungen (hier Elektrizität) oder eine Steuerung des Energieverbrauchs zum Ziel haben. Dies „sind insbesondere lastvariable oder tageszeitabhängige Tarife“, meist werden sie als Zwei-Tarif-Modell (HT/NT) angeboten. Lieferanten sind zugleich verpflichtet immer auch einen maximal datensparsamen Tarif anzubieten, der sich auf die einmalige Übermittlung des Gesamtstromverbrauchs im Abrechnungszeitraum beschränkt (§ 40 Abs. 5 Satz 2 EnWG).

Eine weitere gesetzliche Grundlage für die Umsetzung des Smart-Metering-Ansatzes liegt in der Messzugangsverordnung (MessZV). Diese Verordnung regelt im liberalisierten Energiemarkt die Voraussetzungen und Bedingungen des Messstellenbetriebs und der Messung von Energie. Diese soll nach Artikel 5 des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende abgeschafft werden, die Materie geht im Entwurf für ein Messstellenbetriebsgesetz (MsbG-E) auf.“ [4]

Im November 2015 hat das Bundeskabinett den Regierungsentwurf für ein „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ eingebracht. Dieses ist derzeit noch nicht verabschiedet. Zentrale Bestandteile des Gesetzes sind:

- Technische Mindestanforderungen für die Zulassung und den Einsatz incl. Sicherheitsanforderungen
- Kosten und Nutzen sollen sinnvoll in Einklang gebracht werden. Der Einsatz soll stufenweise erfolgen, indem zuerst der Einsatz bei großen

Verbrauchern erfolgt und stufenweise kleinere hinzugenommen werden.

Der berechtigte Zugriff auf die Daten soll abschließend und eindeutig geklärt werden.

2. Projekt „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“

2.1 Projektbeschreibung und Ziele

Es gibt eine Reihe von Publikationen zu Möglichkeiten der Emissionsreduktion in der Landwirtschaft, speziell in den Sektoren Pflanzenbau und Tierproduktion. Der Anteil der Landwirtschaft an den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland beträgt rund 11 %. Neben Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) aus der Viehhaltung und Düngerausbringung spielen Kohlendioxidemissionen (CO_2) und andere Treibhausgase eine wichtige Rolle. Gleichzeitig ist die Landwirtschaft auch ein Hauptbetroffener Sektor des Klimawandels.

Die landwirtschaftlichen Unternehmen sind als Erzeuger und Verbraucher im ländlichen Raum ein besonders wichtiger Faktor. Sie sind mit ihren Leistungen neben dem landwirtschaftlichen Sektor auch bei der Energieerzeugung ein wichtiger Baustein, der zur Energiewende beiträgt. In den letzten Jahren hat eine enorme Sensibilisierung für das Thema Energie stattgefunden. Zunächst durch die Liberalisierung des Strommarktes seit 1999 und damit verbunden mit dem Thema Markt, der neue Chancen aber auch Risiken bot. Fast alle landwirtschaftlichen Betriebe sind durch ihre besonderen Anforderungen Sondervertragskunden und keine Grundversorgungskunden. Auf der anderen Seite sind landwirtschaftliche Betriebe bzw. ihre Unternehmerfamilien heute meist auch Energieproduzenten. Dies können zum Beispiel Biogasanlagen, Photovoltaikanlagen, Wasserkraft, Windkraft oder Biomasseanlagen als Einzel- oder auch Netzversorgungsanlagen sein. Weiterhin spielt die regenerative Erzeugung von Wärme aus Holz in der Landwirtschaft eine bedeutende Rolle. Durch dieses Wissen (Know How Energie) ist diese Zielgruppe überproportional geeignet, entsprechende Fragestellungen zu erarbeiten und Erkenntnisse abzuleiten.

Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird es immer wichtiger, dass die Strom-Netze intelligenter werden (SMART-Grids). Die Verbraucher sollen in Zukunft einen Anreiz bekommen, sich stärker der Angebots- und Nachfragesituation über einen variablen Strompreis anzupassen. Für Verbraucher über 6.000 kWh Jahresverbrauch, also fast alle landwirtschaftlichen Betriebe, wird der Einbau von Smart-Metern zur Pflicht. Mit einem Rollout wird ab 2016/17 gerechnet, wenn die Technik praxistauglich zur Verfügung steht. Der

Eigenverbrauch wird spätestens dann für den Gesamtbetrieb im Tagesablauf sichtbar und transparent werden, für Teilbereiche, wie Ställe, gibt es derzeit aber keine verlässlichen Daten zum Strom- und Wärmeverbrauch. Ein Ziel des Projektes ist es, aufzuzeigen, wie über intelligent angesteuerte Endgeräte/-verbraucher auch eine Verlagerung von Lasten erfolgen kann.

Die Landwirtschaft ist also direkt von diesen Entwicklungen betroffen. Sie hat in der Vergangenheit teilweise schon mit unterschiedlichen Tarifen gearbeitet. Strom kostet seit Anfang 2013 incl. aller Aufschläge zur HT-Zeit (6-22 h) ca. 22 - 24 ct/kWh und zur NT-Zeit (22-6 h) ca. 17-19 ct/kWh. Die neuen SMART-Meter können also für diese Betriebe, die bisher mit zeitgesteuerten Zählern gearbeitet haben, eine direkte Alternative sein. Dies erfordert aber ein flexibleres Handeln und Steuern, da die günstigeren Bezugszeiten je nach Situation der Bereitstellung erneuerbarer Energien unabhängig von festen Tageszeiten variieren können. Es ist sogar zu erwarten, dass in Zukunft speziell tagsüber ein hohes Stromangebot vorliegt, wenn der Wind weht und die Sonne scheint. Dies macht sich bereits jetzt bemerkbar, da der früher einmal vorhandene Mittags-Peak beim Stromverbrauch nicht mehr zu beobachten ist.

Bei Betrieben mit hohem Stromverbrauch kommt eine andere Tarifoption in Frage. Sie können Mittelspannungskunden mit einem eigenen Transformator sein. Bei diesem Tarif ist der Strompreis je kWh deutlich günstiger, es kommt aber eine andere Komponente, der $\frac{1}{4}$ h-Spitzenstrom, also der höchste 15 Minuten-Stromverbrauch im Jahr, hinzu. Für diese Spitzenleistung sind Preise von 70 – 80 € je kWh zusätzlich zum günstigeren Grund-Strompreis zu entrichten. Bei manchen Stromanbietern kann auch noch eine feste Jahrespauschale hinzukommen. Im letzten Jahr hatten diese Betriebe einen durchschnittlichen Strompreis von ca. 17 – 19 ct. Bei dieser Art der Strommessung ist es wichtig, dass nicht zu viele große Stromverbraucher eines Betriebs gleichzeitig angeschaltet sind, um kurzfristige Leistungsspitzen zu vermeiden. Es gibt hier eine Reihe von Möglichkeiten, mit Steuerungstechnik auf diese Anforderungen zu reagieren.

Es zeigt sich, dass die oben beschriebenen Effizienzbedingungen mit den Bedingungen des Lastmanagements kombiniert werden müssen. Die technischen Einrichtungen dazu müssen mit entsprechender Steuerung ausgestattet sein, um diese komplexen Vorgaben zusammenzufassen und umzusetzen.

Insgesamt hat ein Landwirt verschiedene Optionen, um sich an diese neue Situation anzupassen:

- seit dem EEG 2012 ist es möglich, Strom zu Börsenpreisen der EEX Leipzig einzuspeisen. Speziell Biogasanlagen speisen so in Zeiten knappen Stroms mehr ein und bekommen einen höheren Strompreis als durch die EEG-Einspeisevergütung. Dies erfordert größere, geeignete BHKWs, einen angepassten Gas- und Wärmespeicher und eine entsprechende Steuerungstechnik. Daher ist diese Alternative sehr anspruchsvoll und noch kein Standard. Der Effekt der CO₂-Einsparung ist hier sehr hoch, da direkt fossile Kraftwerke, die diese Aufgabe sonst übernehmen, entlastet werden.
- selbsterzeugter Strom kann zu Hochpreiszeiten verstärkt als Eigenverbrauch genutzt werden, dies führt zu einem höheren Eigenversorgungsgrad mit z.B. preiswerteren Strom aus Photovoltaikanlagen.
- der eigene Verbrauch kann dem Strompreis entsprechend bedingt angepasst werden (z.B. Rühren von Gülle, Hammermühlen oder andere Geräte auf den Hofstellen). Weiterhin sind sämtliche Elektroverbraucher auf ihre Effizienz zu überprüfen. Dies ist umso wichtiger, je mehr Jahresstunden sie laufen (Heizungspumpen, Lüfter in den Ställen, ...). Entsprechende Hocheffizienzgeräte sind zunehmend verfügbar. Dies bewirkt eine hohe CO₂-Einsparung, da der Wirkungsgrad bei der konventionellen Stromerzeugung, speziell bei Kohle und Braunkohle sehr klimabelastend ist.

Die norddeutschen Landwirtschaftskammern haben in Projekten erste Messungen zum differenzierten Stromverbrauch in der Landwirtschaft gesammelt. Dabei blieben noch viele Fragen offen, die in diesem NaRoTec-Projekt untersucht werden können. Dies sind vor allem Strom- und Wärme-Bedarfsmessungen in Ställen mit einer Bandbreite an technischen Ausstattungsvarianten. Neben den technischen Ausstattungsvarianten ist auch auf das Management der Betriebsleiter zu achten. Messungen, für den Heizenergiebedarf oder auch den Stromverbrauch, müssen immer zusammen mit einer Betriebsanalyse durchgeführt werden. Angefangen von den Aufenthaltszeiten des Personals im Stall, über das Management im Tierbestand, bis hin zu den Zusatzeinrichtungen und Maschinen, die für ein Lastmanagement zur Verfügung stehen,

muss alles aufgenommen und bei der Auswertung berücksichtigt werden. Es sollte dabei eine gewisse Variabilität bei den Betrieben vorhanden sein, um Unterschiede bei der eingesetzten Technik, dem Management und evtl. auch im unterschiedlichen Bestand der Tiere fest machen zu können. Als Ergebnis sollten Empfehlungen für energieeffiziente Maschinen wie Fütterungen, Lüftungen, Mühlen, etc. ... erarbeitet werden. Die Möglichkeiten des Lastmanagements, zusammen mit einer vielfach möglichen Eigenverwertung von selbst erzeugtem Strom oder Wärme sollen aufgezeigt und Rentabilitätsschwellen der Eigenverwertung bei variierenden Strompreisen angegeben werden. Datenerhebungen, die leider schon einige Jahre zurück liegen, haben gezeigt, dass in der landwirtschaftlichen Produktion auf vielen Betrieben noch ein erhebliches Einsparpotential beim Energieverbrauch, sowohl beim Strom als auch bei der Wärme, besteht. Gerade alte Anlagen- und Maschinen, die teilweise noch eine lange Abschreibungs- und Nutzungsdauer haben, können vielfach durch Nachrüstung neuester Technik wesentlich energieeffizienter gemacht werden. Insgesamt sind noch erhebliche Einsparpotentiale an Wärme und Strom und die damit verbundenen CO₂-Minderungen zu erwarten.

Aus diesem Grund ist es sehr interessant, eine Strategie zu entwickeln, wie sich die Landwirtschaft mit ihren verschiedenen Produktionszweigen diesen Herausforderungen anpassen kann.

Um die Reaktionsmöglichkeiten der Landwirtschaft auf zukünftige flexible Strompreise und steigende Wärmekosten und die Nutzung von Hocheffizienztechnologie näher zu untersuchen und Einsparpotentiale unter Praxisbedingungen aufzuzeigen zu können, boten sich für eine Untersuchung zu dieser Fragestellung Partner aus der Landwirtschaft, der Industrie sowie dem universitären Bereich für die Auswertungen an.

2.2 Projektpartner und Aufgaben

2.2.1 **NaRoTec e.V.:**

- Verantwortlich: Dr. Karsten Block
- Gesamtkoordinierung des Projektes
- Organisation der Tagungen
- Zusammenstellung der Entwicklungen und Vorgaben aus dem Strommarkt
- Fachliche Begleitung durch die Landwirtschaftskammer NRW in Person von Rolf Feldmann und gegebenenfalls Fachkollegen
- Zusammenführung der Zwischenberichte und des Endberichts



2.2.2 **Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V.:**

- Verantwortlich: Norbert Hofnagel
- Auswahl der Betriebe mit Hilfe der örtlichen Spezialberater der LWK NRW
- Koordinierung des Einbaus der Zähler zusammen mit den BeSte-Stadtwerken
- Überlassungsvertrag für die Nutzung der gewonnenen Daten
- Dokumentation des Zählereinbaus
- Koordinator bei allen Kontakten zu den Betrieben
- Organisation von Fachtreffen mit den Betrieben
- Entwicklung von Strategien für zukünftige Stromverhandlungen



2.2.3 **Technische Hochschule Köln, Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien (LTRE)**

- Verantwortlich: Thomas Mockenhaupt
- Projektbearbeitung: Özgür Inan Metin bis 01.09.2015,
seit 01.10.2015 Andreas Baum und Patrick Beuel
- Strukturierung einer Datenbank
- Einbindung bereits vorhandener Messdaten in die Auswertung
- Sammlung der Strom- und Wärmedaten, Aufbereitung und Überführung in die Datenbank
 - Basisdaten der Betriebserhebung
 - Energiedaten Strom und Wärme der Vorjahre
 - Laufende Energiedaten Strom und Wärme
 - Betriebstagebuch
- Plausibilitätsprüfungen der Daten
- Datenauswertung mittels geeigneter Software/Algorithmen
- Identifizierung geeigneter Lastverschiebungsmöglichkeiten
- Überprüfung der Energieeffizienz der verwendeten Anlagen und Geräte (v.a. Pumpen, Ventilatoren, Fütterungsanlagen, ...)
- Empfehlungen bezüglich dem wirtschaftlichem Einsatz energieeffizienterer Anlagen
- Empfehlungen zur Verlagerung stromintensiver Tätigkeiten auf Zeiten mit geringen Strombezugskosten bzw. hoher Eigenstromproduktion
- Anfertigung des Fachteils des Zwischen- und Abschlussberichtes



- Bereitstellung der Datenbanken und Auswertungsroutinen für die weitere Nutzung durch die Projektpartner am Ende des Projektes

Die Auswertungen werden fachlich begleitet durch Rolf Feldmann von der LWK NRW und gegebenenfalls hinzugezogenen Spezialberatern.

2.3 Ansprechpartner und Kontaktdaten:

NaRoTec e.V.:

Dr. Karsten Block
c/o Haus Düsse, Ostinghausen, 59505 Bad Sassendorf
privat: Leckgadumstr. 9, 59494 Soest
T.02921/5599317 M: 0176/99583221
eMail: NaRoTec@gmail.com

Landwirtschaftskammer NRW, Fachbereich 51,
Nevinghoff 40, 48147 Münster
Rolf Feldmann
T. 0251/2376 459 M. 0171/8322186
eMail: Rolf.Feldmann@lwk.nrw.de

Dr. Joachim Mathias
T. 0251/2376-360 M: 0151/55167014
eMail: Joachim.Matthias@lwk.nrw.de

Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V.

Bohlenweg 3, 33034 Brakel

Norbert Hofnagel
T: 05272/5402 M: 0171/9903909
eMail: Norbert.Hofnagel@mr-hoexter-warburg.com

Jens Hoppe,
T. 05272/5402 M: 0171/9839490
eMail: jens.hoppe@mr-hoexter-warburg.com

Technische Hochschule Köln,
Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien (LTRE)
Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln

Prof. Christiane Rieker
T: 0221/8275-2398 M: 0179/1142522
eMail: christiane.rieker@th-koeln.de

Thomas Mockenhaupt
T: 0221/8275 2413 M: 0172/7556868
eMail: thomas.mockenhaupt@th-koeln.de

Patrick Beuel
T: 0221/8275-2415 M: 0163/2840557
eMail: patrick.beuel@th-koeln.de

Andreas Baum (Datenbank-Arbeiten abgeschlossen)

3. NaRoTec: Projektarbeiten und Stand des Projektes

3.1 Koordinierung des Projektes, Öffentlichkeitsarbeit und fachliche Begleitung

Das Projekt „IE in der Landwirtschaft“ startete am 30.09.2013 mit einer Veranstaltung bei dem Maschinenring Höxter-Warburg in Brakel. Diese Auftaktveranstaltung wurde dazu genutzt, potentielle Interessierte und Landwirte auf das Projekt aufmerksam zu machen und zu bewerben. Aus den Rückmeldungen der Veranstaltung und der Pressemitteilungen wurden genügend Landwirte identifiziert, die Interesse an dem Projekt zeigen.

Diese Landwirte wurden zu einer Folgeveranstaltung am 18.10.2014 geladen, in der die Ziele des Projektes detailliert erläutert und die Anforderungen an die Betriebe formuliert wurden. Dies betrifft in erster Line die Trennbarkeit der Stromkreise, um verschiedene Untereinheiten in einem Stall separat messen zu können. Es wurden aber auch fachliche Kriterien bewertet, um möglichst unterschiedliche Systeme messen zu können und keine Doppelungen zu haben.

Es folgten Besichtigungen der Betriebe durch den Experten der LWK NRW, Rolf Feldmann, die durch Jens Hoppe vom MR Höxter-Warburg vorbereitet und begleitet wurde. Nach diesen Besuchen und der Festlegung der Zählpunkte wurden die Betriebe durch die betreuenden örtlichen Elektriker soweit umgerüstet und Zählerplatten eingebaut, dass die vorkonfigurierten Zähler der BeSte-Stadtwerke eingesetzt und an die Kommunikationssysteme angeschlossen werden konnten.

Der erste Betrieb wurde im Januar 2014 fertiggestellt. Damit war es für die TH Köln möglich, die Auslesemodule für die Übernahme der Verbrauchswerte in die eigene Datenbank und die dazugehörigen Testroutinen zu entwickeln.

Leider stellte sich heraus, dass die Kommunikation innerhalb der Stadtwerke sehr zögerlich verlief. Es standen trotz vorheriger Absprache nicht die notwendigen Zähler und Datenübertagungssysteme bereit, was zu Verzögerungen bei den vorbereiteten Betrieben führte. Daher wurde eine gemeinsame Besprechung bei den BeSte-Stadtwerken in Steinheim einberufen. Diese Sitzung fand am 21.01.2014 statt. Hier stellte sich heraus, dass bisher von Seiten der

Stadtwerke keine Vorbereitungen hinsichtlich der Bestellung der notwendigen Hardware gelaufen waren. Speziell bei der Bestellung Hardware gab es anschließend erhebliche Lieferschwierigkeiten mit entsprechenden Wartezeiten, die den Einbau der Zähler in die Betriebe leider weiter verzögerten. Durch diese Verzögerungen kamen die Betriebe zeitmäßig in ihre Hauptbelastungsphase. Mit Beginn der Bestellung im Frühjahr bis zum November sind sie nicht in der Lage, größere Projekte außerhalb des Kernbetriebs durchzuführen, da dazu die Kapazitäten fehlen, so dass bei einigen Betrieben zwar die Zähler konfiguriert waren, der Einbau sich aber bis zum nächsten Winter 2014/15 verzögerte. Auf einer weiteren Sitzung mit den Stadtwerken im Februar 2015 wurde von den BeSte-Stadtwerken ein intensiver Einsatz zur Lösung der Probleme zugesagt und auch eingehalten, so dass bis Ende Februar alle Zähler ohne Beanstandung und stabil liefen. Ab März 2015 können daher von allen Zählern verlässliche Auswertungen vorgenommen werden. Nähere Einzelheiten zu den Problemen sind im Kapitel 4 dargestellt.

3.2 Tagungen und Veranstaltungen

In der bisherigen Projektlaufzeit fanden eine Reihe von Tagungen und Projekttreffen statt. Einen Überblick gibt die folgende Tabelle:

Tabelle 3.1: Übersicht Tagungen, Veranstaltungen und Projekttreffen

Datum	Ort	von	bis	Thema	Referenten	Teilnehmer
30.09.2013	Brakel	10:00	13:00	Auftaktveranstaltung	7	21
18.10.2014	Brakel	10:00	12:30	Info für Interessenten	4	18
21.01.2014	Steinheim	10:00	14:00	Projekttreffen mit BeSte-Stadtwerken	-	11
07.05.2014	Köln	14:00	17:00	1. Tagung zum Projekt	8	49
23.07.2014	Warburg	10:00	18:00	Betriebsbesichtigungen, Treffen BeSte	-	-
15.09.2014	TH Köln	11:00	15:30	Projekttreffen mit FH Köln	-	-
17.09.2014	Warburg	14:00	14:30	Vortrag Tag der offenen Tür, Borlinghausen	1	22
20./21.10.2014	Freising/Grub			Treffen mit Neiber, BY & Schmidt, BW		9
22.10.2014	Düsseldorf			Projektvorstellung Bioenergieforum NRW		
30.10.2014	Haus Düsse	10:00	15:00	2. Projekttagung	11	
07.01.2015	Köln	10:00	16:00	Projekttreffen Auswertung		8
02.03.2015	Steinheim	10:00		Projekttreffen mit BeSte-Stadtwerken		7
06.05.2015	Haus Düsse	13:00	16:00	Projekttagung mit Zwischenstand	6	32
02.06.2015	Kyllburg, Eifel	10:00	15:00	Vortrag zum Projekt		ca. 45
08.06.2015	Haus Düsse	10:00	12:30	Arbeitsgruppensitzung		9
03.08.2015	TH Köln	11:00	14:00	Projektorganisation		5
01.10.2015	Dartmstadt	10:00	14:30	Bundesweites Expertentreffen beim KTBL		11
23.11.2015	Brakel	10:00	15:30	Tagung mit teilnehmenden Landwirten	6	23

Besonders erwähnenswert in 2014 ist das Treffen mit den bayerischen und baden-württembergischen Kollegen, das in Freising stattfand. Hier gab es einen intensiven Austausch der Erfahrungen. In Bayern läuft ein umfangreiches Messprogramm über mehrere Jahre mit dem Schwerpunkt Kuhhaltung. Das Land hat ein eigenes Erfassungsnetz mit Datenloggern installiert, die ursprünglich aus dem Wetterbereich stammen. Hieran sind die Strommessgeräte angeschlossen. Die Daten werden über Fernabfrage ausgelesen und in einer Datenbank abgespeichert. Die eigenen Logger erlauben den Einsatz von deutlich mehr Strommessern je Betrieb, so dass bei dem Projekt in Bayern deutlich differenzierter gemessen werden kann, als in unserem Projekt.

Baden-Württemberg geht einen anderen Weg. Dort werden keine Betriebsdaten gemessen, sondern die Beratungsergebnisse werden anonymisiert in einer Datenbank abgelegt. Wenn auf diese Weise genügend Betriebe erfasst sind, hofft man so auf tragfähige Daten zu kommen. Es werden aber vermutlich beide Wege beschritten werden müssen, um an gute Beratungsinformationen zu gelangen.

In 2015 wurde vom NaRoTec der deutschlandweite Informationsaustausch fortgesetzt. In den Räumlichkeiten des KTBL in Darmstadt fand ein bundesweiter Erfahrungsaustausch zu dem Thema Stromeffizienz in der Landwirtschaft statt. Dabei wurde auch dargelegt, wie die KTBL-Verbrauchswerte für verschiedene Stalltypen ermittelt werden. Dies beruht auf einem theoretischen Ansatz. Ein Stall nach Stand der Technik wird mit allen Geräten und Beleuchtung ausgestattet. Für jede Komponente werden der Verbrauch und die Laufzeit ermittelt und daraus werden Verbrauchswerte berechnet. Interessant ist nun der Vergleich zu tatsächlich ermittelten Verbrauchswerten, der von der TH Köln immer mit ausgewertet wird.

3.3 Verlängerung der Projektlaufzeit

Durch den verzögerten Einbau der Zähler und der dann noch in Kapitel 4 näher beschriebenen technische Unzuverlässigkeit der Datenerfassung kam es zu sehr vielen Fehlwerten bei einer großen Anzahl an Zählern der BeSte-Stadtwerke. Die Fehlerrate lag so hoch, dass sie nicht ausgewertet werden können. Nach Behebung der letzten Probleme im Februar 2015 laufen alle Zähler nun stabil, so dass die ersten Jahresauswertungen dieser kritischen Zähler ab

März 2016 erfolgen können. Zu diesem Zeitpunkt sollte das Projekt eigentlich abgeschlossen sein. Es hätten dann nur die exemplarischen Auswertungen über die Zähler der RWE erfolgen können, für die zuverlässige Daten vorliegen. Dies verhindert aber einen Vergleich über verschiedene Aufstellungssysteme und entsprechend verbauter Techniken.

Aus diesem Grunde wurde ein Verlängerungsantrag für das Projekt gestellt, und Ende 2015 bewilligt, so dass nun nach der Analyse der einzelnen Betriebe noch ein Systemvergleich möglich wird, um den umfangreich gesammelten Datensatz weiter intensiv zu analysieren.

Das Projekt endet im Oktober 2016.

4. MR Höxter-Warburg: Betriebsauswahl und Zählereinbau mit den BeSte-Stadtwerken

4.1 Auswahl und Datenerfassung bei den Betrieben mit RWE- und BeSte-Stadtwerke-Zählern

4.1.1 *Auswahl der Betriebe in Zusammenarbeit mit der LWK NRW*

Ein Projekt der Landwirtschaftskammer NRW, in dem Strommessungen im Betriebszweig Schweinehaltung durchgeführt wurden, startete bereits ein Jahr vor dem Beginn des Projektes *IE in der Landwirtschaft*. Daher bot sich eine enge Zusammenarbeit beider Projekte an, um Überschneidungen zu vermeiden und alle Betriebe gemeinsam auszuwerten.

Die Auswahl der Betriebe, die von der Landwirtschaftskammer NRW mit Zählern der RWE ausgestattet worden sind, ist nach aktuellen Produktionsverfahren und Haltungsformen durchgeführt worden. Da nur die Installation von 23 Zählern auf 4 Betrieben möglich war, wurden hier erst einmal Betriebe ausgewählt die in der Schweinehaltung, hauptsächlich in der Sauenhaltung und Ferkelproduktion tätig sind. Gerade hier sollen über die differenzierte Erfassung des Stromverbrauchs einzelner Anlagenteile in ihrer Effizienz ein standardisierter Energieverbrauch pro erzeugtem Tier oder Stallplatz berechnet werden. Da vorhandenen Auswertungen in der Regel viele Jahre alt sind, haben sie wenig Aussagekraft für aktuelle Stallgrößen mit den dort verbauten, neueren Fütterungs- und Lüftungstechniken. Daher wurde bei der Auswahl der Betriebe im Raum Brakel darauf geachtet, dass aktuelle Stallgrößen, Tierzahlen und Betriebsmittel vorhanden waren.

Darüber hinaus sind Betriebe gewählt worden die Strom, über Photovoltaikanlagen auf ihren Dächern, selber produzieren. So soll es in Zukunft besser möglich werden die Eigennutzung von selbst erzeugter Energie abzuschätzen. Der zeitliche Verlauf des Stromverbrauchs der unterschiedlichen Futterverteilungen und Lüftungen über die Jahreszeiten und bei unterschiedlicher Stallbelegung kann so ermittelt werden. Interessant ist dann die Gegenüberstellung des bezogenen und des selbst erzeugten Stroms zur Ermittlung des möglichen Eigenversorgungsgrades. Daraus kann in Zukunft über den Jahresverlauf der

Eigennutzungsgrad besser abgeschätzt werden. Auch Vorgaben für eine intelligente Steuerung der Anlagenteile können so ermittelt werden. Stromspitzen und Zeiten in denen nicht so viel Energie erzeugt oder verbraucht werden, sollen in Zukunft besser angeglichen werden. Darüber hinaus gilt es auch zu klären, ob die Messung und Steuerung der Energieerzeuger und -verbraucher auf einem landwirtschaftlichen Betrieb sowohl zum Störungsmanagement als auch zu einer Energieeinsparung beitragen kann.

Bei den von der LWK NRW ausgewählten Betrieben handelt es sich bei drei Landwirten um Sauenhalter mit Ferkelaufzucht und bei einem um einen Mastschweinebetrieb. Die Sauenhalter verwenden unterschiedliche Fütterungstechniken, die bei der Verteilung des Futters unterschiedliche Verfahren nutzen. Bei der Verteilung der tages- / rationsgenau ermittelten Futtermenge wird dabei auf drei gängige Verfahren gesetzt. Die Dosierung am Futtertrog geschieht entweder trocken per Futterketten, die durch den Stall gelegt werden, oder in flüssiger / breiiger Form mittels Pumpe durch Rohrleitungen oder trocken-geblasen, wobei dann mit Druckluft das Futter durch Rohrleitung gefördert wird. Bei den Lüftungsverfahren nutzen fast alle Landwirte Ventilatoren die, wenn sie stufenlos geregelt werden müssen, mit einem Frequenzumformer oder anderen verbrauchsarmen Steuerungstechniken angesteuert sind. Bei der Lüftung kann man gerade während der Sommerzeit, wo ein höherer Lüftungsbedarf im Stall besteht, in der Regel auch eine höhere Stromproduktion aus der Photovoltaik auf dem eigenen Dach erwarten und dies gegenüberstellen.

Zusätzliche Verbraucher wie Heizungen, Licht und Reinigungsanlagen sind mit in die Erfassung des Energieverbrauchs aufgenommen worden. Da gerade im Mastschweinebereich nur ein Betrieb in dem LWK-Projekt mit der RWE vorhanden ist und Milchviehbetriebe noch gar nicht erfasst wurden, bot sich die gemeinsame Auswertung des RWE-Projektes mit dem IE-Projekt an.

4.1.2 **Auswahl der Betriebe beim BHD & MR Höxter-Warburg und Ausstattung mit Smart-Metern der BeSte-Stadtwerken**

Der Betriebshilfsdienst und Maschinenring Höxter-Warburg mit Sitz in Brakel unterstützt rund 950 Mitglieder. Seit der Liberalisierung des Strommarktes 1999 beschäftigt sich der Maschinenring mit der Bündelung von Stromrahmenverträgen. Durch die Bündelung einer großen Stromabnahmemenge können heute mehr als 1400 Abnahmestellen vergünstigt bedient werden.

Aufgrund der hohen Mitgliederzahl im Kreisgebiet Höxter konnte der Maschinenring gezielte Betriebszweige mit entsprechenden Schwerpunkten auswählen. Durch eine vor Ort Besichtigung der landwirtschaftlichen Betriebe wurde deutlich, welcher Unternehmenstyp für das Projekt geeignet ist. Des Weiteren wurde die technische Ausstattung der ausgewählten Betriebe mit Blick auf den Projektansatz geprüft.

Es wurden einzelne Produktionszweige isoliert, in denen eine Zuordnung spezieller Stromverbraucher gewährleistet war. Erst wenn dieses Kriterium erfüllt war, kam es zur Festlegung der Messstellen und zur Installation der Zähler. Der Maschinenring fungiert folgend als Schnittstelle zur Dokumentation und Ansprechpartner für die Projektteilnehmer.

Ein weiteres Kriterium zur Auswahl der Betriebe war die Multiplizierbarkeit der zukünftigen Ergebnisse aus typischen Produktionszweigen. Als erstes und schnellstes Ergebnis können Stromeinsparungen durch den Abgleich mit Vergleichszahlen offengelegt werden. Im zweiten Schritt sollen typische Lastgänge herausgearbeitet werden.

Die im Projekt: IE in der Landwirtschaft, ausgewählten Betriebe konnten so die bereits erfassten Betriebe des LWK - Projekts sehr gut ergänzen. Nicht nur Techniken, die noch nicht erfasst wurden, haben eine entsprechende Priorität erhalten, sondern auch andere Aufstellungsformen, Futterversorgungen und auch Eigenenergieerzeugungsanlagen wurden berücksichtigt. Bei der Lüftungsteuerung kamen Betriebe hinzu, die neben Zentralabsaugungen auch abteilweise einzeln entlüftet werden. Die Futtergabe über eine so genannte Abrufstation wurde hinzugenommen und einige weitere Unterscheidungsmerkmale sind als Vergleichspunkte hinzugekommen. Da aber nicht alle Betriebe in komplett unterschiedlichen Verfahren ihre Tiere halten, wird es über

die Anzahl der gemeinsam erfassten Betriebe mittlerweile auch möglich sein, gleichartige Energieverbraucher, z.B. in Hinblick auf die Stallgröße oder unterschiedliches Management zu vergleichen. Daneben sind über den Maschinenring Höxter-Warburg auch Milchviehbetriebe angeworben worden. Dort sind Stromzähler eingebaut worden, die vor allem nach den Unterscheidungsmerkmalen: Melk- und Haltungstechniken, Kühlmöglichkeiten und weiteren, untergeordneten Parametern, selektiert wurden. Wenn sie über einen strukturierten Aufbau der Elektroverteilung verfügen, im Versorgungsgebiet der örtlichen Stadtwerke liegen und eine Übertragung der Daten technisch eingerichtet werden konnte, sind dort Zähler installiert worden. Auf diesen Betrieben können die Verbrauchswerte nun zusammen mit den Stadtwerken BeSte (Beverungen – Steinheim) über vergleichbare Wege wie im LWK - Projekt aufgezeichnet werden.

4.1.3 Übersicht über die beteiligten Betriebe und Zähler

In Tabelle 4.1 sind alle Messpunkte der jeweiligen Betriebe aufgeführt. Insgesamt gibt es 27 Zähler die dem Energieversorgungsunternehmen BeSte und 23 dem Energieversorgungsunternehmen RWE zugeordnet werden können.

Tabelle 4.1: Übersicht Betriebe und Zähler

Zähler id	Betr. id	Betr. Kennung	Gemessen wird:	Stall- typ	Mess- punkt
1	1	BESTE1	Fütterung	SM	F1
2	1	BESTE1	Fütterung 2	SM	F2
3	1	BESTE1	Lüftung	SM	L1
4	1	BESTE1	Lüftung 2	SM	L2
5	2	BESTE2	Fütterung	SM	F1
6	2	BESTE2	Fütterung 2	SM	F2
7	2	BESTE2	Lüftung	SM	L1
8	2	BESTE2	Lüftung 2	SM	L2
9	3	BESTE3	Chargenmischer	SA	A1
10	3	BESTE3	Lüftung	SA	L1
11	4	BESTE4	Kühlung	KU	K1
12	4	BESTE4	Melkroboter	KU	M1
14	5	BESTE5	Fütterung	SM	F1
15	5	BESTE5	Mühle	SM	A1
16	6	BESTE6	Kühlung	KU	K1
17	8	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Trockenfütterungsketten	FE	F1
18	8	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Zentrallüftungsanlage	FE	L1
19	8	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Beleuchtungstechnik	FE	B1
20	8	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - sonstige Verbraucher	FE	S1
21	8	RWE1	Sauenstall - Trockenfütterungsanlagen	SA	F2
22	8	RWE1	Sauenstall - Lüftungsanlage	SA	L2
23	8	RWE1	Sauenstall - Beleuchtungstechnik	SA	B2
24	8	RWE1	Sauenstall - Rotlicht im Deckzentrum	SA	B3
25	9	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Fütterung	FE	F1
26	9	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Lüftung	FE	L1
27	9	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Licht	FE	B1
28	9	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Nebenverbraucher	FE	S1
29	9	RWE2	Sauenstall - Fütterung	SA	F2
30	9	RWE2	Sauenstall - Lüftung	SA	L2
31	9	RWE2	Sauenstall - Licht	SA	B2
32	9	RWE2	Sauenstall - Nebenverbraucher	SA	S2
33	10	RWE3	Mastschweinestall - Lüftung	SM	L1
34	10	RWE3	Mastschweinestall - Fütterung	SM	F1
35	10	RWE3	Mastschweinestall - Abzweig / Einspeisung im Nebestall	SM	S1
36	11	RWE4	Ferkelaufzucht - Fütterung	FE	F1
37	11	RWE4	Ferkelaufzucht - Lüftung	FE	L1
38	11	RWE4	Sauenstall - Fütterung	SA	F2
39	11	RWE4	Sauenstall - Lüftung	SA	L2
40	7	BESTE7	Kühlung	KU	K1
41	12	BESTE8	Karussellantrieb	KU	M1
42	12	BESTE8	Melkstand	KU	M1
43	12	BESTE8	Milchkuehlung	KU	K1
44	12	BESTE8	Mistschieber	KU	G1
45	12	BESTE8	Vakuumpumpe	KU	K1

4.1.4 ***Datenerfassung und -übertragung durch RWE***

Bei den Betrieben die von der LWK-NRW zusammen mit der RWE erfasst werden sind so genannte “Smart-Meter” oder “elektronische Haushaltszähler” (eHZ) eingesetzt worden. Wie bei “Registrierenden Lastgangmessungen” (RLM) können diese Geräte alle 15 Minuten den aktuell ermittelten Verbrauch aufzeichnen und abspeichern. Hierfür musste beim Stromanschluss der einzelnen Verbraucher die Zuleitung über diese Geräte gelegt werden. Da nicht immer genügend Platz dafür in der Unterverteilung vorhanden war, mussten die Elektroschränke teilweise auch erweitert werden. Ein gut strukturierter Aufbau der Elektroversorgung, war aber eine grundlegende Voraussetzung für die Teilnahme der Betriebe an den Projekten. Nur wenn es einigermaßen sicher war welche Verbraucher an einem Stromkreis angeschlossen worden sind, wurde ein Zähler eingebaut. Diese Zähler, die nur zu einem kleinen Teil gleichzeitig für mehrere Verbraucher Werte aufzeichnen, sind an so genannte Multi Utility Communication (MUC) Controller angeschlossen, die wiederum per Modem die Daten über das Telefon- /GSM bzw. GPRS- Netz zu einer Datenbank senden. Die Werte aus den eHZ werden einmal am Tag über den MUC zur RWE-Datenbank gesendet und als CSV-Dateien wiederum der LWK und über diese auch der TH Köln zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

4.1.5 ***Datenerfassung und Datenübertragung bei den Betrieben des Betriebs- hilfsdienstes und Maschinenringes Höxter- Warburg e.V. über die Daten- bank der BeSte Stadtwerke***

Wie in Kapitel 3.1 schon erwähnt wurde, kam es bei der Lieferung der Smart Meter und der Datenübertragungsmodule zu erheblichen Schwierigkeiten. So wurde die Messtechnik nicht nur zu einem erheblich späteren Zeitpunkt, als ursprünglich geplant, geliefert, sondern auch in mehreren verschiedenen Systemausführungen bereitgestellt. Aus diesem Grund konnten weder die landwirtschaftlichen Betriebsleiter, noch der für den Betrieb zuständige Elektriker entsprechende Vorausrüstungsmaßnahmen in den Betrieben vornehmen. Nachdem die Installation in den Betrieben abgeschlossen und die Technik zur Datenerfassung und -übertragung fertiggestellt war, kamen weitere Hemmnisse hinzu.

Problematischer als anfangs gedacht stellten sich die Datenerfassung und speziell die Datenübertragung dar. Die Breitbandversorgung mit Mobilfunkeinrichtungen ist im ländlichen Raum wie im Kreis Höxter nicht flächig ausgebaut. Aus diesem Grund entschied man sich für eine Datenübertragung, die auf dem UMTS-Standard basiert. Leider stellte sich sehr schnell heraus, dass große Leistungsschwankungen und unterschiedliche Verfügbarkeiten der Mobilfunknetze zu einem instabilem Datenaustausch mit hoher Störanfälligkeit führten. Dies bezieht sich gerade auf das UMTS-Netz. Jede Störung der Datenübertragung erfordert einen manuellen Neustart (Reboot). Durch die Häufigkeit der Störungen waren alle beteiligten Projektpartner kaum in der Lage die Betriebe kurzfristig anzufahren, um die Verbindung zur Datenübertragung regelmäßig neu aufzubauen.

Darüber hinaus synchronisiert sich der Smart-Meter alle 26 Stunden mit einem Zeitserver, um einen Zeitabgleich durchzuführen. In dem Augenblick, in dem der Zeitabgleich stattfindet, benötigt der UMTS-Stick eine erhöhte Stromspannung. Dieser Anstieg führt dazu, dass der Smart-Meter eine Fehlermeldung ausgibt. Ist dies der Fall und der Smart-Meter meldet ein „fehlendes Zeitsignal“, so gehen die gesammelten Daten verloren, da nach BSI-Protokoll keine Messwerte auf dem Gerät zwischengespeichert werden dürfen. Die Option, den automatischen Zeitabgleich auszuschalten, da dieser nur für abrechnungsrelevante Zähler erforderlich wäre, war technisch wie auch gesetzlich nicht möglich. Diese Störanfälligkeit der Smart Meter bei der Datenübertragung über einen UMTS-Stick wurde erstmals in diesem Feldversuch erkannt, wie wir später von den BeSte Stadtwerken erfuhren.

Daraufhin wurden mögliche Alternativen mit den Projektpartnern gesucht und deren Umsetzung besprochen mit dem Ziel eine stabile Datenübertragung zu gewährleisten. Der Maschinenring klärte mit den Betriebsleitern ab, ob diese in der Nähe der Messstellen eine feste Internetverbindung, zum Beispiel über einen LAN- Anschluss zur Verfügung stellen können. Wenn dies der Fall war, galt es abzuklären, ob eine Nutzung des LAN- Anschlusses erlaubt war und ob dieser mit vertretbarem Umrüstungsaufwand für das Projekt genutzt werden konnte. Schließlich konnte etwa die Hälfte der Smart-Meter an eine kabelgebundene Internetverbindung angeschlossen werden. Mit dem Anschluss an

das LAN-Netz wurde die Datenanbindung sehr gut und eine konstante Datenübertragung gewährleistet. Hier ist vor allem die gute Zusammenarbeit seitens der Landwirte zu erwähnen, die es uns binnen kürzester Zeit ermöglicht haben auf vorhandene Übertragungsmodule zurückzugreifen. Ein weiterer Teil der Betriebe konnte weiter Daten über das UMTS-Netz senden. Auf Betrieben, auf denen weder ein LAN- Anschluss noch ein ausreichendes UMTS- Netz hatten, wurde auf altbewährte Zählerfernauslese-Technik (ZFA-Technik) umgerüstet, die die Daten über das Festnetz überträgt. Die technische Umrüstung seitens der Technikabteilung der BeSte-Stadtwerke war auch hier ausgesprochen schnell und unkompliziert. Seit der Umstellung der Datenübertragung auf die vor Ort angepassten Gegebenheiten läuft die Datenübertragung nahezu störungsfrei. Die Daten aus den Strommessungen werden auf einem Server-TRIANEL, einem Service-Partner der Stadtwerke, gebündelt. Von dort können die Daten der Projektzähler nach Freischaltung durch die TH Köln zur Auswertung heruntergeladen werden.

Neben den Stromzählern wurden in diesem Projekt auch zwei Wärmemengenzähler verbaut (siehe Kapitel 5.3). Diese messen auf zwei Betrieben mit Sauenhaltung und entsprechender Ferkelerzeugung den Wärmebedarf. Die Wärmemengenummessung ist aufgrund des erhöhten Heizbedarfs in diesem Produktionszweig als besonders wichtig einzustufen. Die Wärmemengenummesser werden manuell seitens des Betriebshilfsdienstes und Maschinenringes in Absprache mit der TH- Köln mit einem Laptop ausgelesen, und zur Verfügung gestellt. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden sowohl die Datenspeicherung als auch die Auswertung und Analyse der Energieverbrauchsdaten beschrieben.

5. TH Köln: Datenspeicherung und Auswertung der Energieverbrauchsdaten

5.1 Grundlagen Energieverbrauchsanalyse

Die Landwirtschaft in Deutschland ist ein sehr energieintensiver Wirtschaftszweig. Geeignete Einsparmaßnahmen und eine effizientere Energienutzung bieten wichtige Potentiale, den durch die steigenden Energiepreise ebenfalls ansteigenden Betriebskosten entgegenzuwirken und gleichzeitig die Klimabelastungen zu reduzieren. Energieeffizienzbewertungen der landwirtschaftlichen Betriebe können entscheidend dazu beitragen, diese Potentiale nutzbar zu machen.

Grundvoraussetzung für eine solche Bewertung ist eine möglichst genaue Analyse des Energieverbrauchs des jeweiligen Betriebs. Die Verbräuche lassen sich mit intelligenten Stromzählern, sogenannten Smart-Metern, automatisiert aufzeichnen. Die so gewonnenen Verbrauchsdaten können anschließend per Computer ausgelesen und einer Analyse unterzogen werden.

Die Analyse der vorliegenden Smart-Meter-Messdaten kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Zum einen kann eine professionelle Analysesoftware genutzt werden, die statistische Methoden in geeigneter Weise auf die Messdaten anwendet. Derartige Software erfordert jedoch im Allgemeinen ein hohes Maß an Einarbeitungszeit, insbesondere für Anwender, die nur über wenig Erfahrung in der Datenanalyse verfügen.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Nutzung eines Tabellenkalkulationsprogramms wie Microsoft Excel. Mit diesen Programmen lassen sich die wichtigsten statistischen Aufgabenstellungen lösen und Ergebnisse visuell in Form von Diagrammen darstellen. Ein großer Vorteil in der Nutzung von Tabellenkalkulationsprogrammen liegt in der vergleichsweise geringen Einarbeitungszeit. Außerdem ist auf den meisten Arbeitsplatzrechnern Microsoft Excel oder ein vergleichbares Programm installiert, sodass ein hohes Maß an Austauschbarkeit erreicht werden kann.

Ebenfalls erwähnt sei hier noch die Möglichkeit, ein eigenes Programm zur Datenanalyse zu programmieren. Der Funktionsumfang eines solchen Pro-

gramms ließe sich sehr genau auf die Art der auszuwertenden Daten zuschneiden. Der Aufwand, der mit der Programmierung eines solchen Programms verbunden ist, kann jedoch schnell den aus der Anwendung des Programms resultierenden Nutzen übersteigen, insbesondere wenn die Analyse nur selten durchgeführt werden soll.

Die Rücksprache mit den Projektpartnern (Nutzer des Analyse-Tools) hat ergeben, dass man ein datenbankgestütztes Excel-Tool entwickelt, um die Verbrauchsdatenanalyse auf der einen Seite kostengünstig, und auf der anderen Seite nutzerfreundlich zu gestalten.

5.1.1 **Messdaten**

Die Messdaten werden bei einem konstanten Intervall von 15 Minuten der bezogenen elektrischen Leistung bzw. des Stromverbrauchs aufgezeichnet. Pro Zähler fallen dabei jährlich ca. 35.000 Einzelwerte an. Durch die Vielzahl von installierten Zählern kommt man jährlich auf ca. 1,5 Mio. Messdaten. Ende Februar 2016 befanden sich 3,3 Mio. Messwerte in der Projektdatenbank.

Aus den Messdaten lassen sich mit einem Tabellenkalkulationsprogramm unter anderem die folgenden Informationen gewinnen:

- Lastverläufe beliebiger Zeitabschnitte der Messung
- Regelmäßigkeiten im Lastverlauf durch visuelle Betrachtung
- Absolute und relative Häufigkeiten auftretender Leistungsintensitäten, auch hinsichtlich der jeweiligen Uhrzeiten
- Eventuell auftretende Anomalien durch visuelle Betrachtung
- Zeitpunkte, zu denen Lastspitzen auftreten

Die Verbrauchsdaten der einzelnen Betriebe liegen in Form von CSV-Dateien vor, die sich aus den Online-Plattformen der Energieversorger nach Freischaltung exportieren lassen. Eine CSV-Datei (engl.: Comma-Separated Values) ist eine Textdatei, in der tabellarische Daten abgebildet werden können. Die Zeilen und Spalten können mittels Trennzeichen unterteilt werden. Üblicherweise dient das Komma oder Semikolon als Trennzeichen für die Spalten, während die Zeilen mit einem Zeilenumbruch getrennt werden (siehe Abbildung 4).

CSV-Dateien werden von den meisten datenverarbeitenden Programmen unterstützt und werden deshalb häufig als gemeinsame Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Programmen verwendet.

CSV-Dateien können neben den eigentlichen Datensätzen auch noch einen sogenannten Header enthalten, der Metadaten enthalten kann, die üblicherweise für alle in der Datei enthaltenen Nutzdaten gelten.

```
1 Zeit,BetriebsID,ZaehlerID,Zaehlerstand
2 01.03.2014 12:00,1,1,3.724
3 01.03.2014 12:00,2,2,2.874
4 01.03.2014 12:00,2,3,2.342
5 01.03.2014 12:15,1,1,3.982
6 01.03.2014 12:15,2,2,3.067
7 01.03.2014 12:15,2,3,2.902
```

Abbildung 4: Beispiel einer CSV- Datei

Die Verbrauchsdaten der einzelnen Betriebe werden von zwei unterschiedlichen Quellen bereitgestellt, dem Energieversorgungsunternehmen RWE und den BeSte-Stadtwerken. In beiden Fällen lassen sich die Daten in Form von CSV-Dateien aus Online-Plattformen der Unternehmen exportieren.

Die Struktur und der Informationsgehalt der Dateien unterscheiden sich jedoch zwischen den beiden Quellen „RWE“ und „BeSte“. Die aufzubauende Datenbank soll die Daten beider Quellen in einer einheitlichen Struktur unterbringen, was eine Bearbeitung der CSV-Dateien vor dem Import in die Datenbank erforderlich macht.

Um eine automatisierte Umwandlung der Ausgangs-CSV-Dateien in die Zielstruktur zu ermöglichen, wurde ein Programm („CSV Preprocessor“) in der Programmiersprache C# entwickelt, das eine beliebige Anzahl an CSV-Dateien in eine einzige CSV-Datei oder SQL-Datei umwandeln kann (Abbildung 5). SQL-Dateien sind beim Importieren in eine MySQL-Datenbank vorzuziehen, da das Importieren dadurch deutlich weniger Zeit beansprucht. CSV-Dateien sind hingegen für den Datenaustausch mit anderen Programmen vorteilhaft, da das Format von den meisten Programmen unterstützt wird.

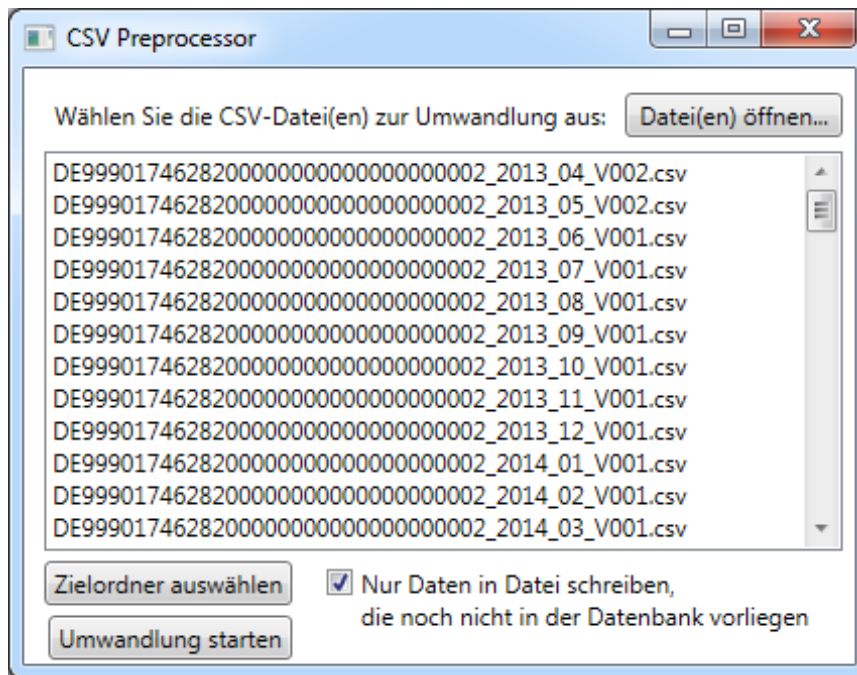


Abbildung 5: CSV- Preprocessor

Abbildung 6 zeigt die durch den CSV- Preprocessor erzeugte CSV-Datei. Sie besteht aus acht Spalten:

ID des Datensatzes: laufende Nummer, die automatisch vom Datenbanksystem vergeben wird. In der CSV-Datei muss allerdings gemäß Abbildung 5 Platz für diese Spalte vorgesehen sein.

ID der Betriebe: Verweis auf Betrieb in der Tabelle „betriebe“

ID des Zählers: Verweis auf Zähler in der Tabelle „zaehler“

Zeit: Datum und Uhrzeit in kombinierter Darstellung
(yyyy-mm-dd hh:mm:ss)

Zählerstand: Zählerstand des Zählers (Einheit kWh)

Leistung: Berechnete Leistung

Statusfeld: ‚OK‘ für normalen Wert, ‚EW‘ für Ersatzwert,
‚NO‘ für nicht vorhandenen Wert

Originalwert: Diese Spalte ist nur für Daten vorgesehen, deren Energiewert nicht dem Zählerstand entspricht. Dies ist beispielsweise bei den RWE-Daten der Fall, da in diesen

der Energiewert der innerhalb 15 Minuten abgenommenen Energiemenge entspricht.

Die einzelnen Schritte, die vom CSV- Preprocessor durchgeführt werden, sind in Abbildung 7 dargestellt.

```

1 ,1,4,2014-03-20 13:45:00,1.28,0,OK,0
2 ,1,4,2014-03-20 14:00:00,1.28,0,OK,0
3 ,1,4,2014-03-20 14:15:00,1.28,0,OK,0
4 ,1,4,2014-03-20 14:30:00,1.28,0,OK,0
5 ,1,4,2014-03-20 14:45:00,1.28,0,OK,0
6 ,1,4,2014-03-20 15:00:00,1.28,0,OK,0
7 ,1,4,2014-03-20 15:15:00,1.28,0,OK,0
8 ,1,4,2014-03-20 15:30:00,1.28,0,OK,0
9 ,1,4,2014-03-20 15:45:00,1.301,0.084,EW,0
10 ,1,4,2014-03-20 16:00:00,1.323,0.088,EW,0

```

Abbildung 6: Auf den Datenbankimport vorbereitete CSV- Datei

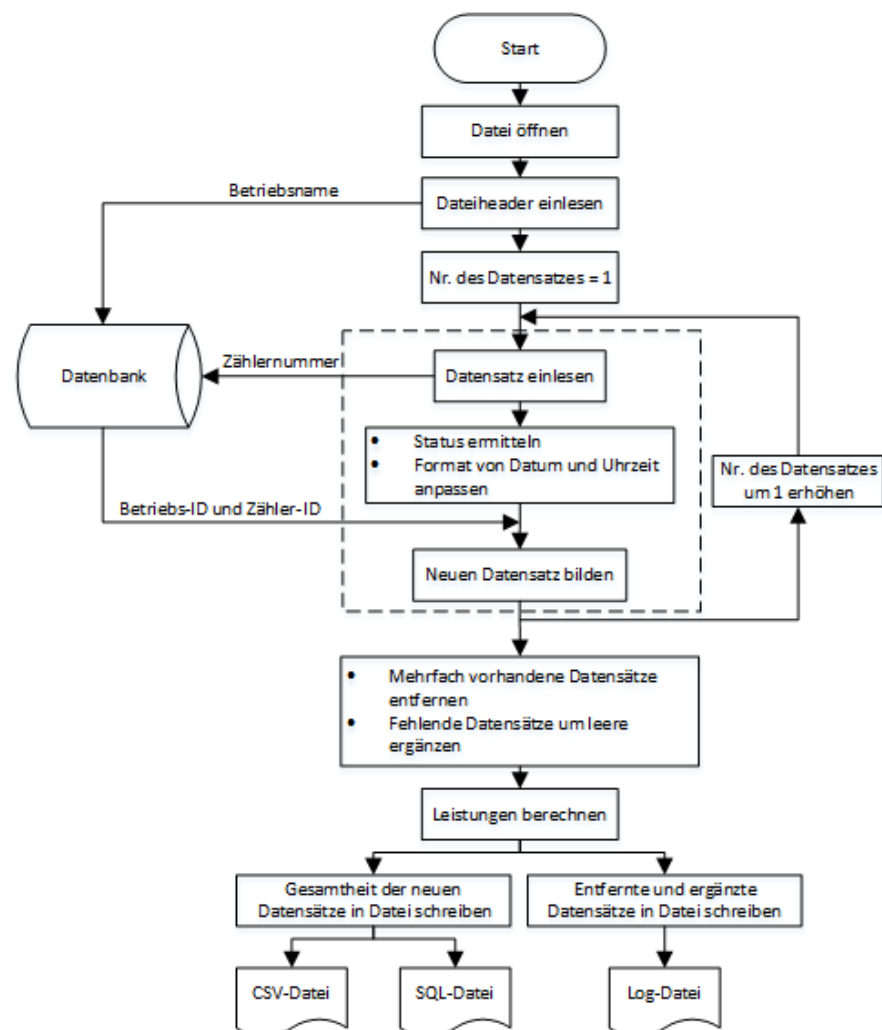


Abbildung 7: Flussdiagramm des CSV- Preprocessors zum Einlesen der Zählerdaten

5.1.2 Betriebsdaten

Der Energieaufwand in einem Betrieb muss auf das Produkt, z.B. produzierte Tiere, die Milchmenge oder auf den Energieaufwand pro Tierplatz bezogen werden, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Betrieben zu gewährleisten. Zudem sind Merkmale wie z.B. installierte Leistung, eingesetztes Produktionsverfahren und vorhandene Lagerkapazitäten notwendig, um die Effizienz der Anlagen und die Verschiebepotenziale der Produktionsprozesse in günstigere Bezugszeiten aufzuzeigen.

Die nötigen Informationen wurden zu diesem Zweck in einer Excel-Mappe aufgenommen. Diese Informationen werden dann mit Hilfe eines in VBA (Visual Basic for Applications) geschriebenen Programms in die Datenbank eingelesen. Dies ermöglicht die spezifische Analyse des Energieaufwands pro Tier bzw. pro Quadratmeter Betriebsfläche.

Aufgrund der unterschiedlichen Betriebe (Schweine- bzw. Rinderzucht) wurden differenzierte Erhebungsbögen erstellt. Abbildung 8 zeigt exemplarisch einen Teil des Erhebungsbogens für einen Ferkelaufzuchtbetrieb.

Ferkelaufzucht./Abferkel				
Name:		Vorname:		
Straße:		Ort	PLZ:	
e-Mail:		Tel.:		
Name und Anschrift des Betriebes / Datum:			Betr. ID:	ZählerID
Stallgröße [Länge x Breite x Höhe]			Anzahl Abteile:	
Ferkelplätze	Anz.		Anzahl	ges. kW
Installierte Heizsysteme	☐	Heizkanone	2	
	☐	Gebälsekonvektor		
	☐	Dunkelstrahler	1	
	☐	indirekte Heizkanone		
	☐	Warmwasser		
	☐			
Wärmetauscher		☐		
Bei Warmwasser: Wasserverteilung	☐	Fußboden		
	☐	Deltarohre		
	☐	Twinrohre		
	☐			

Abbildung 8: Teil des Erhebungsbogens für Betriebsdaten

Tabelle 5.1: Übersicht Betriebe und Wetterstationen

Name	DWD-Wetterstation	Entfernung [km]	Messstations-kordinaten	Messzeitraum	Verfügbare Stundenwerte	Anmerkung
BeSte1	Warburg	14,6	51° 30' N; 9° 6' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 236
BeSte2	Warburg	14,6	51° 30' N; 9° 6' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 236
BeSte3	Warburg	12,3	51° 30' N; 9° 6' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 236
BeSte4	Warburg	12,3	51° 30' N; 9° 6' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 236
BeSte5	Bad-Lippespringe	15,4	51° 42' N; 8° 48' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 157
BeSte6	Lügde-Paenbruch	17,2	51° 47' N; 9° 11' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 258
BeSte7	Warburg	16,8	51° 30' N; 9° 6' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 236
RWE1	Borken in Westfalen	27,8	51° 47' N; 6° 48' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 48
RWE2	Borken in Westfalen	14,7	51° 47' N; 6° 48' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 48
RWE3	Münster/Osnabrück	17,3	52° 5' N; 7° 35' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 48
RWE4	Ahaus	5,3	52° 0' N; 6° 54' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 46
BeSte8	Warburg	9,5	51° 30' N; 9° 6' O	01.01.2014 - 31.12.2015	8760 (100 %)	Stationshöhe 236

Es wurden Excel-Vorlagen erstellt, in die die stündlichen Temperaturwerte für den Zeitraum eines ganzen Jahres eingefügt werden können. Anschließend werden diese Werte per Knopfdruck in 15-Minuten-Werte umgerechnet und in eine CSV-Datei geschrieben. Hierbei muss vom Anwender noch die datenbankinterne ID der entsprechenden Wetterstation abgefragt werden, damit die errechneten Temperaturwerte der jeweiligen Wetterstation zugeordnet werden können (siehe Abbildung 11). Die generierte CSV-Datei ist bereits auf die Struktur der Datenbank-tabelle abgestimmt und lässt sich direkt über ein Administrationstool wie „phpMyAdmin“ in die Datenbank importieren.

5.2 Aufbau der Datenbank

Für die Wahl eines geeigneten Datenbanksystems ist es wichtig, dass dieses auf den weitverbreitetsten Betriebssystemen verwendet werden kann. Wichtig sind auch eine leichte Erlernbarkeit des Systems sowie eine einfache Wartbarkeit, da die Datenbank zukünftig noch erweitert werden muss. Dies soll vom Anwender selbst durchgeführt werden können, weshalb eine leichte Handhabbarkeit besonders wichtig ist.

Darüber hinaus stellen auch die Anschaffungskosten einen wichtigen Faktor für die Wahl eines Datenbanksystems dar.

Ein besonders wichtiger Punkt ist jedoch die Kompatibilität zu anderen Programmen. Da die Auswertung der Daten mit Microsoft Excel erfolgen soll, ist es erforderlich, dass sich Excel mit der Datenbank verbinden kann.

5.2.1 *Wahl eines Datenbanksystems*

Aufgrund der Kriterien zur Wahl eines Datenbanksystems, fiel die Entscheidung auf „MySQL“, da es das weltweit verbreitetste Open-Source-Datenbanksystem ist und alle zuvor genannten Kriterien erfüllt. Es lässt sich auf UNIX-basierten Betriebssystem sowie auf Windows ausführen und die Anschaffungskosten entfallen, da es sich um Open-Source-Software handelt. Ferner lässt sich das Datenbanksystem mit dem Administrationsprogramm „phpMyAdmin“ über eine grafische Benutzeroberfläche komfortabel verwalten und ermöglicht durch die Installation entsprechender Schnittstellentreiber den Zugriff durch eine Vielzahl von Programmen.

5.2.2 *Aufbau der Datenstruktur*

Als Grundlage der Datenbanktabellen und Relationen zwischen diesen Tabellen dient die Analyse der in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen CSV-Dateien. Hieraus werden nun die benötigten Daten zusammengefasst. Diese Zusammenfassung dient anschließend als Grundlage zum Aufbau der Datenbankstruktur.

Tabelle 5.2: Daten, die in der Datenbank erfasst werden sollen

Datenfeld	Kurzeschreibung
Betriebsname:	Name des Betriebes
Adresse:	Straße, Ort und PLZ, Telefon, e-Mail
Zählernummer:	Nummer des jeweiligen Smart-Meters
Funktionsgruppe:	Beschreibung der an den Zähler angeschlossenen Verbraucher (z.B. Fütterung, Lüftung, etc.)
EVU:	Herkunft und Format der Daten (BeSte7, BeSte11 oder RWE)
Stalltyp:	Beschreibung des Stalltyps (z.B. Ferkelaufzuchtstall, Sauenstall)
Zeitwert:	Zeitpunkt der Messung
Zählerstand (nur BeSte):	Zählerstand des Smart-Meters zum Zeitwert

Originalwert (nur RWE):	In den 15 Minuten vor dem jeweiligen Zeitwert abgenommene Energiemenge
Leistung:	durchschnittliche abgenommene Leistung der 15 Minuten vor dem Zeitwert
Statusfeld:	wahrer Wert [OK], Ersatzwert [EW] oder kein Wert [NO]

Sinnvollerweise wird die in Tabelle 5.2 zusammengefasste Gesamtheit der Daten gemäß Abbildung 10 auf drei Tabellen aufgeteilt. Im Folgenden werden die einzelnen Tabellen beschrieben und die Aufteilung begründet.

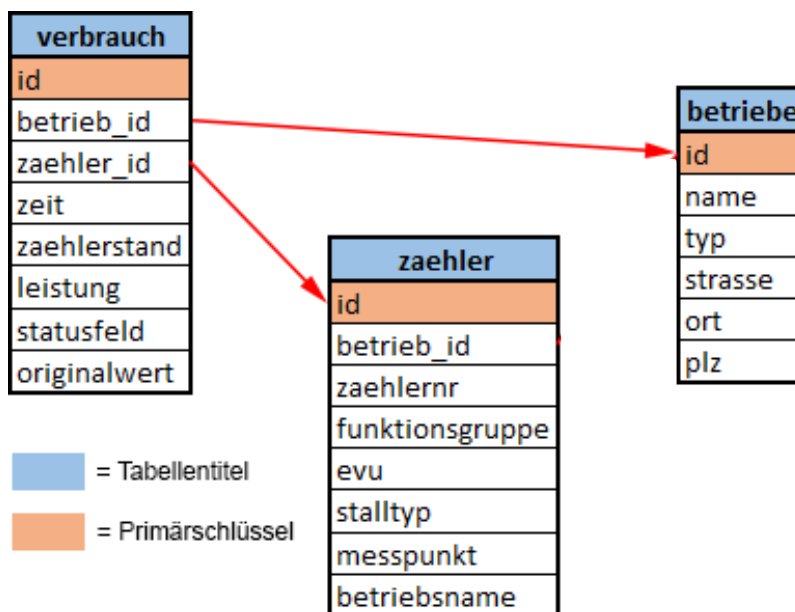


Abbildung 10: Relationsschema

Die Tabelle „verbrauch“ bildet für jede Kombination aus Zähler und Zeitpunkt den entsprechenden Zählerstand (Spalte: zaehlerstand) bzw. die abgenommene Energie der vergangenen 15 Minuten (Spalte: originalwert) und die aus den entsprechenden Werten berechnete Leistung ab. Die Zugehörigkeit des Datensatzes zu Betrieb und Zähler wird über Verweise in die Tabellen „betriebe“ und „zaehler“ abgebildet. Die Spalten „betrieb_id“ und „zaehler_id“ der Tabelle „verbrauch“ enthalten also für jeden Datensatz als Fremdschlüssel die ID des entsprechenden Betriebes bzw. Zählers aus den Tabellen „betriebe“ und „zaehler“. Weiterhin enthält die Tabelle eine Spalte „Statusfeld“, die einen der drei Werte „OK“ (wahrer bzw. realer aufgezeichneter Wert), „NO“ (kein Wert) und „EW“ (Ersatzwert) enthalten kann. Dies ermöglicht eine

Filterung bei Datenbankabfragen. Falls z.B. Ersatzwerte oder fehlende bzw. leere Werte nicht mit ausgelesen werden sollen, kann dies später in der Abfrage berücksichtigt werden. Die Spalte „originalwert“ ist für Energiewerte vorgesehen, die nicht dem Zählerstand entsprechen. In den RWE-Daten liegen nicht die Zählerstände vor, sondern die Energiemenge in kWh, die innerhalb der 15 Minuten vor dem Zeitwert des jeweiligen Datensatzes abgenommen wurde.

Die Tabelle „betriebe“ beinhaltet die Betriebsdaten der einzelnen Betriebe. Hier können der Betriebsname und die Adresse eingetragen werden. Zusätzlich wurde hier noch eine Spalte „betriebstyp“ eingerichtet, in der der Typ des Betriebs eingetragen werden kann (z.B. Schweinezucht, Rinderzucht, etc.). Die Tabelle kann auch noch um weitere betriebsspezifische Daten wie z.B. die Anzahl der Tiere ergänzt werden.

In die Tabelle „zähler“ werden die einzelnen Zähler eingetragen und mit einem Verweis in der Spalte „betrieb_id“ auf die ID des Betriebes in der Tabelle „betriebe“ verknüpft. Die Beziehung zwischen den Betrieben und den Zählern wird als 1:n-Beziehung bezeichnet, da jeder Betrieb über eine beliebige Anzahl an Zählern verfügen kann, jeder Zähler aber eindeutig nur einem einzigen Betrieb zugeordnet ist.

In der Tabelle „zaehler“ kann außerdem die Funktionsgruppe, der Stalltyp und der Messpunkt festgelegt werden um die hinter dem Zähler stehenden Verbraucher genauer zu beschreiben, damit die Verbrauchsdaten bei der Auswertung besser interpretiert werden können. In der Spalte „evu“ wird die Herkunft der Daten festgehalten. Die möglichen Werte sind „BeSte7“, „BeSte11“ und „RWE“. Die Zahl steht dabei für die Anzahl der Spalten in den CSV-Ausgangsdateien.

Zusätzlich wurden noch die Spalten „messpunkt“ und „betriebsname“ eingerichtet. In ersterer sollen Kürzel der Funktionsgruppe eingetragen werden (z.B. „F2“ für die Funktionsgruppe „Fütterung 2“), die für die Benennung der Excel-Arbeitsblätter und die Beschriftung der Diagramme herangezogen werden.

Die Daten aus den Betriebserfassungsbögen sind aufgrund Unvollständigkeit noch kein Gegenstand dieses Berichts und werden aktuell in die Datenbank

eingearbeitet. Das Relationsschema wird dadurch um die Tabellen, wie in Abbildung 11 dargestellt, erweitert.

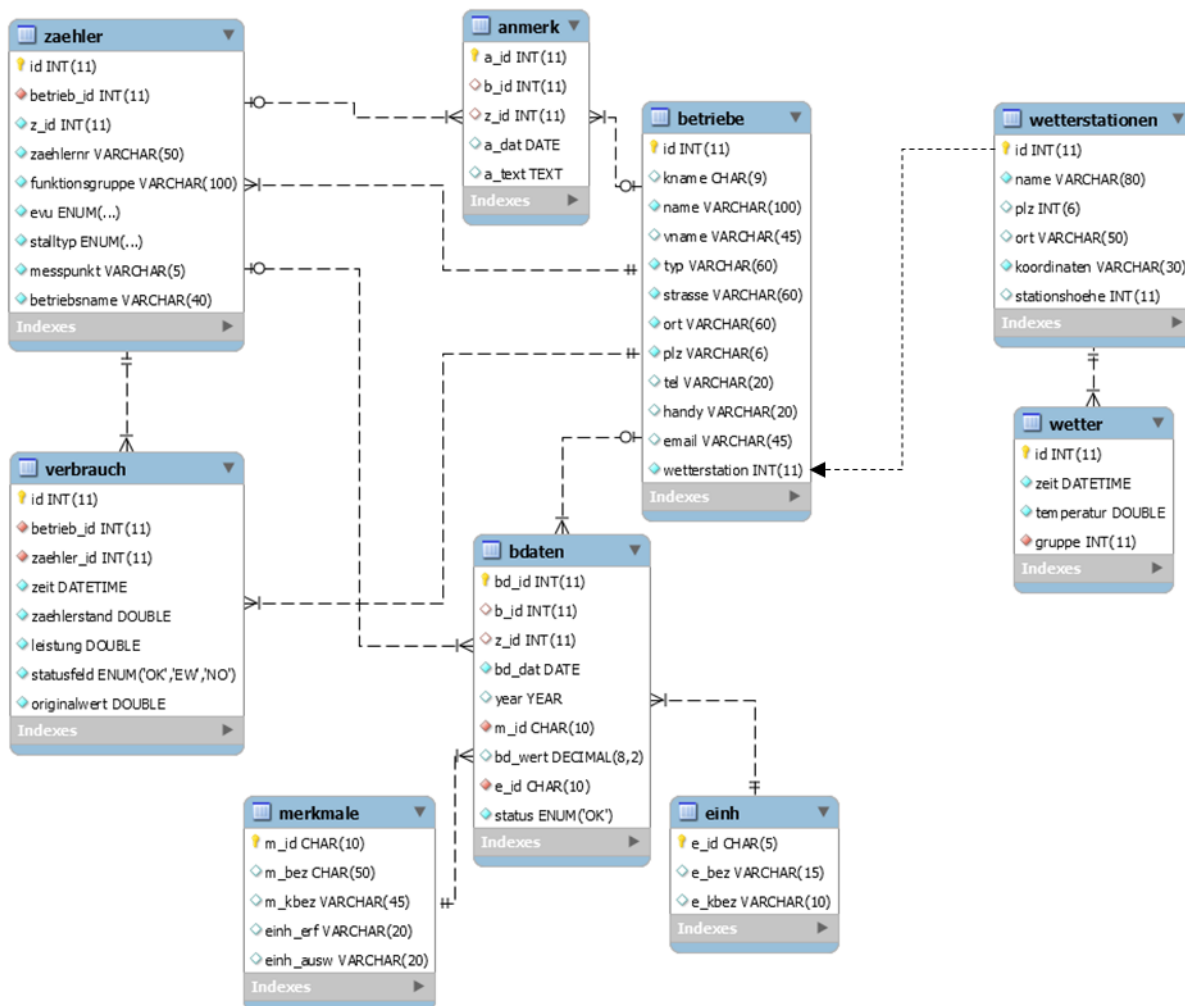


Abbildung 11: Datenbank-ER-Diagramm (Vollständig)

5.2.3 Entwicklung eines Analyse- Tools

Da die Verbrauchswerte mit Microsoft Excel ausgewertet werden sollen, wurde ein Analyse-Tool in Form eines Makros in der Programmiersprache „Visual Basic for Applications“ entwickelt, mit dem es möglich ist, die Daten selektiv abhängig von Betrieb, Zähler und Zeitraum auszulesen und in Form von Diagrammen zu visualisieren.

Das Analyse-Tool kann jederzeit erweitert werden, wenn sich weitere Anforderungen an die Datenauswertung ergeben. Das Tool könnte z.B. um weitere Diagrammtypen erweitert werden oder um Algorithmen, die den Datenbestand auf bestimmte Verbrauchsmuster überprüfen.

Das Analyse-Tool soll dem Anwender ermöglichen, einen Zeitabschnitt und einen bzw. mehrere Zähler eines oder mehrerer Betriebe auszuwählen, sowie eine Auswahl an Diagrammen bereitzustellen, die automatisiert auf Grundlage der abgefragten Daten erstellt werden können.

Die für die Erzeugung der Diagramme benötigten Daten sollen dann automatisch aus der Datenbank ausgelesen und in einem Excel-Arbeitsblatt abgelegt werden. Die Diagramme sollen auf einem separaten Arbeitsblatt erstellt werden.

Die Benutzeroberfläche ist unterteilt in die fünf Registerkarten „Betriebe“, „Zeitraum“, „Diagramme“, „Plausibilität“ und „Lastprofil“. Die Registerkarte „Betriebe“ (Abbildung 12) dient der Auswahl der Zähler. Im Listenfeld ① wird der Betrieb ausgewählt und gegebenenfalls durch setzen eines Hakens bei Wetterdaten werden diese mit abgefragt. Anschließend werden im Listenfeld ② alle dem Betrieb zugehörigen Zähler aufgelistet. Diese lassen sich einzeln auswählen und über die Schaltfläche (+) in das Listenfeld ③ überführen und über die Schaltfläche (-) wieder aus der Auswahl entfernen.

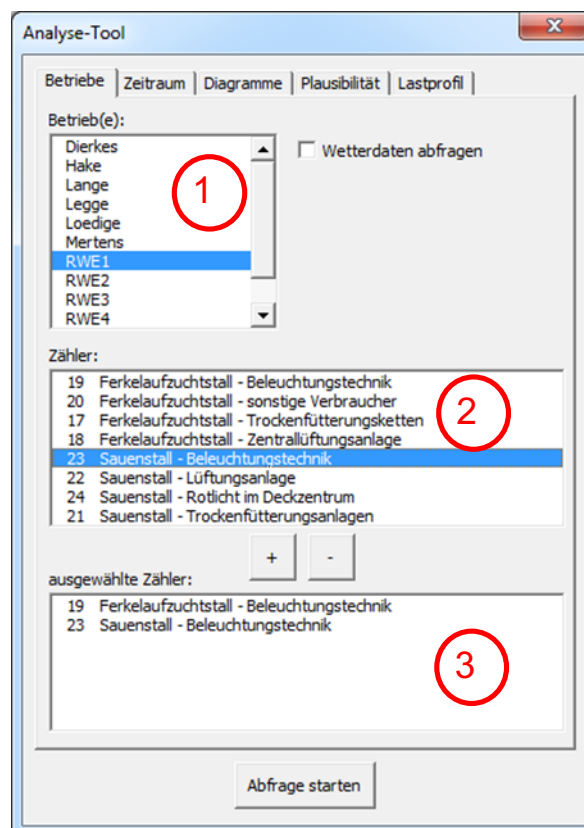


Abbildung 12: Registerkarte "Betriebe"

Ist die Auswahl der Zähler abgeschlossen, kann zur nächsten Registerkarte „Zeitraum“ übergegangen werden (Abbildung 13). In dieser wird der Zeitraum, über welchen die Analyse durchgeführt werden soll, festgelegt ④ - ⑤. Wird nur die Abfrage der Daten bestimmter Wochentage gewünscht, können diese aus einer Auflistung ⑥ ausgewählt werden. Wird hier eine Auswahl getroffen, kann nur noch der Diagrammtyp „täglich“ erzeugt werden, da sich die anderen wählbaren Diagrammtypen nur generieren lassen, wenn ein lückenloser Abfragezeitraum gewählt wurde. Die übrigen Diagrammtypen in der Registerkarte „Diagramme“ sind dann auch nicht mehr anwählbar.

The screenshot shows the 'Analyse-Tool' window with the 'Zeitraum' tab selected. The 'von:' section has 'Tag' set to 1, 'Monat' to 4, 'Jahr' to 2013, 'Stunde' to 0, and 'Minute' to 15. The 'bis:' section has 'Tag' set to 2, 'Monat' to 2, 'Jahr' to 2016, 'Stunde' to 0, and 'Minute' to 0. The 'Nur bestimmte Wochentage:' section has a list box with the following options: Montag, Dienstag, Mittwoch, Donnerstag, Freitag, Samstag, Sonntag. The 'Abfrage starten' button is at the bottom.

Abbildung 13: Registerkarte "Zeitraum"

Die Registerkarte „Diagramme“ (Abbildung 14) enthält Steuerelemente, um die Position ⑦ und Größe ⑧ der Diagramme auf dem Excel-Arbeitsblatt festzulegen. Außerdem lässt sich über die Optionsfelder ⑨ der zu erstellende Diagrammtyp auswählen. Eine Mehrfachauswahl der Diagrammtypen ist nicht möglich, nach einer erfolgreichen Abfrage kann jedoch ein anderer Diagrammtyp ausgewählt und eine neue Abfrage gestartet werden, da die restlichen Angaben gespeichert bleiben.

Abstand

linker Tabellenrand: 10 px

oberer Tabellenrand: 10 px

Größe

Breite: 600 px

Höhe: 300 px

Diagrammtyp

☒ Kein Diagramm

☐ Täglich

☐ Wöchentlich

☐ Gesamter Zeitraum

☐ Kumuliert

Abfrage starten

Abbildung 14: Registerkarte "Diagramme"

Nachdem mindestens ein Zähler ausgewählt und ein Zeitraum festgelegt wurde, kann die Abfrage durch Betätigung der Schaltfläche „Abfrage starten“ gestartet werden. Der grundlegende Ablauf der Abfrage ist in Abbildung 15 dargestellt.

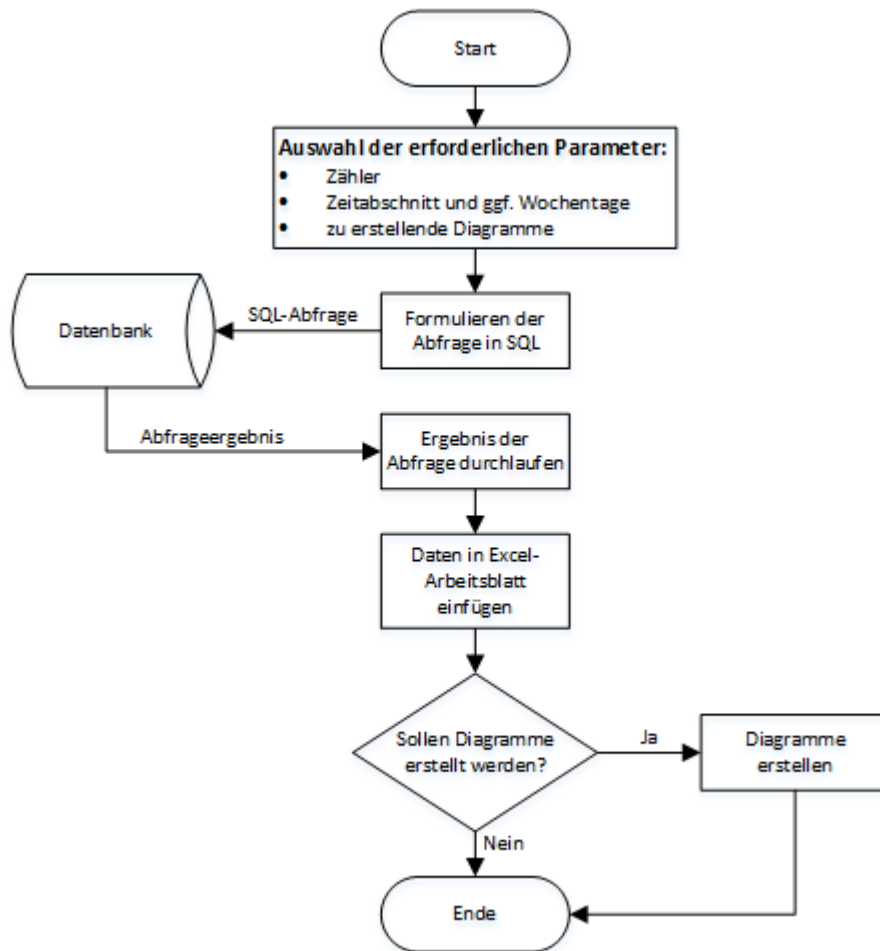


Abbildung 15: Flussdiagramm zur Arbeitsweise des Analyse-Tools

Beispielhaft wird das wochenbezogene Diagramm beschrieben, welches den Lastgang eines ausgewählten Betriebes über die Woche darstellt. Das Diagramm wird, wie oben beschrieben nach Eingabe der erforderlichen Parameter in Excel automatisch generiert.

Dabei wird für jede Woche des ausgewählten Zeitabschnittes ein separates Diagramm erzeugt. Die Abszisse erstreckt sich von Montag 0:00 Uhr bis Sonntag 23:59 Uhr, es sei denn, der ausgewählte Zeitraum beginnt nach Montag um 0:00 Uhr oder endet vor Sonntag um 23:45 Uhr. In diesem Fall erstreckt sich die Abszisse nicht über die gesamte Woche, sondern nur über den verkürzten Zeitraum. Abbildung 16 zeigt ein wochenbezogenes Diagramm einer vollständigen Woche.

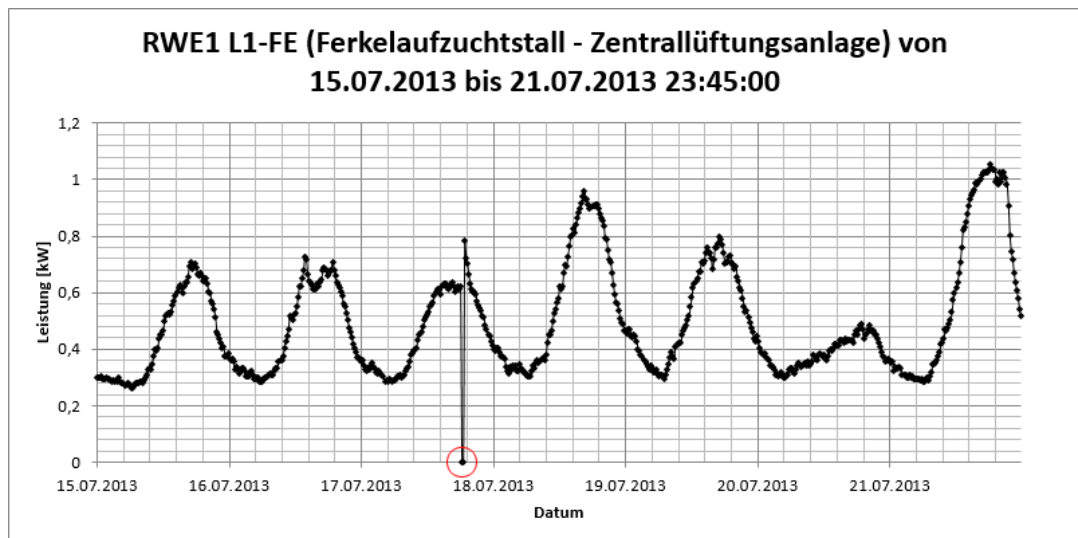


Abbildung 16: Wochenbezogener Lastgang

In dem Diagramm (Abbildung 16) bestätigt sich die Annahme des periodischen Lastverlaufes. Die Periodendauer ist über den betrachteten Zeitraum konstant, lediglich die Beträge der Amplituden verändern sich. Dies ist jedoch zu erwarten, da es sich bei dem angeschlossenen Verbraucher um eine Lüftungsanlage handelt und sich der Lüftungsbedarf unter anderem durch klimatisch bedingte Schwankungen und den sich im Stall aufhaltenden Tieren verändert. Wie in dem Diagramm ersichtlich, ist der Lüftungsbedarf im Stall tagsüber auch deutlich höher als nachts. Der markierte Punkt, an dem keine Leistung abgenommen wurde, stellt einen fehlenden Messwert dar.

Plausibilitätsprüfung

Um eine aussagekräftige Auswertung und Analyse der Energieverbrauchsdaten durchführen zu können, muss die Datenqualität möglichst hoch sein. Das heißt, es sollten möglichst wenige Fehlwerte für einen Zähler in einem gewünschten Zeitraum vorliegen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass maximal 10% Fehlwerte im Monat zulässig sind. Zähler die diese Grenze überschreiten sind für eine Auswertung nicht geeignet. Mithilfe der Registerkarte „Plausibilität“ (siehe Abbildung 17) kann eine einfache Überprüfung der Zählergenauigkeit für den Zeitraum eines Jahres durchgeführt werden. Die Registerkarte enthält Steuerelemente, um das Jahr und das Plausibilitätskriteriums (maximale Fehlwerte eines Monats in %) festzulegen. Wurden diese festgelegt und im Anschluss die Schaltfläche „Plausibilitätsprüfung starten“ betätigt, wird für alle in der Datenbank enthaltene Zähler eine tabellarische Übersicht generiert.

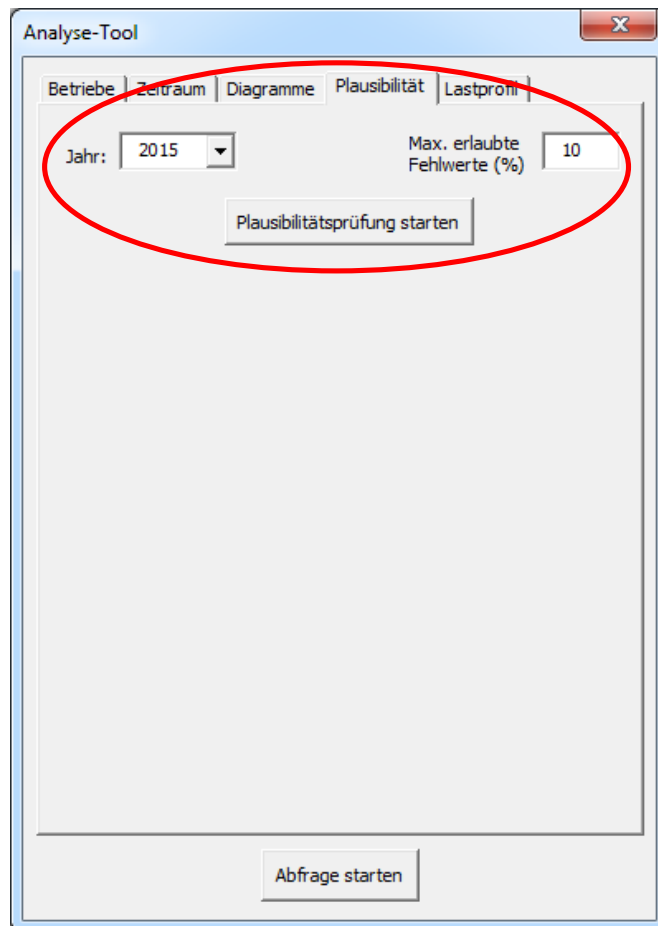


Abbildung 17: Registerkarte „Plausibilität“

Die Monate, die das Kriterium erfüllen werden grün und die, die das Kriterium nicht erfüllen rot markiert. Die Anzahl der Fehlwerte der jeweiligen Monate wird in eine entsprechende Zelle geschrieben. Darunter befindet sich eine Tabelle in der die Anzahl der Monate, die das Kriterium erfüllen und nicht erfüllen angezeigt. Im Anhang A: Plausibilitätsprüfung ist das Ergebnis der Zählergenauigkeit nicht monatlich, sondern in vereinfachter Form für die Jahre 2014 und 2015 zusammengefasst. Aus dieser Darstellung geht die in Kapitel 4.1.5 beschriebene Problematik mit der Datenerfassung und -übertragung der BeSte-Betriebe hervor. Die Zählergenauigkeit hat sich erst im Laufe des letzten Jahres kontinuierlich bei diesen Betrieben verbessert. Die Zähler der RWE-Betriebe weisen hingegen, bis auf wenige Ausnahmen, sowohl im Jahr 2014 als auch 2015 Genauigkeiten von über 98% auf.

Lastprofile

Der Lastgang unterliegt in der Regel starken tageszeitlichen Schwankungen, die wiederum wochentagsabhängig und je nach Verbraucher saisonal unterschiedlich sein können. Die Registerkarte „Lastprofil“ ermöglicht eine gemittelte Darstellung der Lastverläufe eines jeden Zählers. Somit entsteht ein repräsentatives gemitteltes Tageslastprofil, mit dessen Hilfe der Lastgang dieser Energieverbraucher prognostiziert und bilanziert werden kann. Dabei werden alle Leistungen, die einem Zeitwert zugeordnet sind addiert und im Anschluss durch die Häufigkeit der zu diesem Zeitpunkt aufgetretenen Leistung dividiert. Ferner wird zwischen Werktagen, Samstagen und Sonntagen unterschieden. Zunächst müssen die Schritte 1 bis 3 in der Registerkarte „Betriebe“ (siehe Abbildung 12) eingetragen werden. Die Registerkarte „Lastprofil“ (siehe Abbildung 18) enthält dann Steuerelemente, um das Jahr und die Art der Darstellung festzulegen.

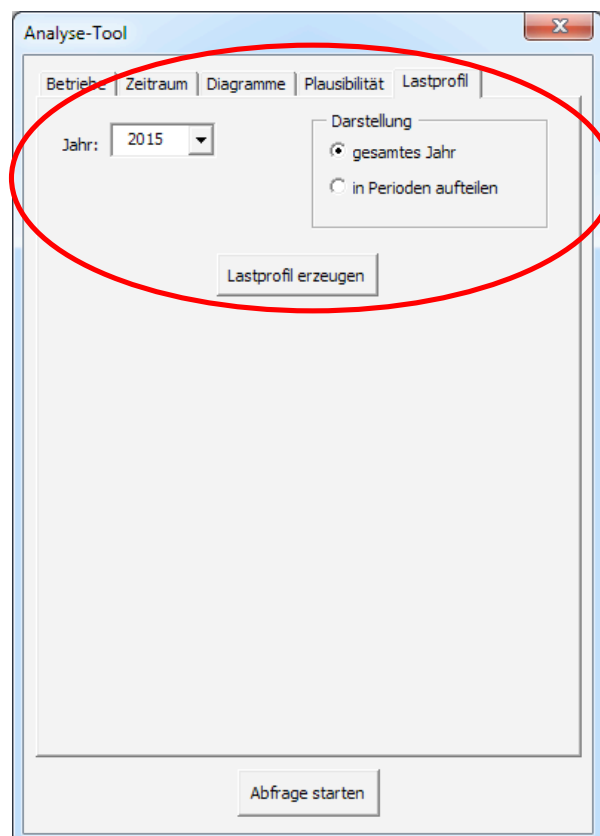


Abbildung 18: Registerkarte „Lastprofil“

Die Lastprofile können entweder über das gesamte Jahr gemittelt werden oder in die Perioden Frühling (21.3. - 14.5.), Sommer (15.5. - 14.9.), Herbst (15.9. - 31.10.) und Winter (1.1. - 20.3. und 1.11. - 31.12.) unterteilt werden. Dadurch

entsteht eine feinere Auflösung, wodurch auch jahreszeitbedingte, also saisonale Schwankungen abgebildet werden können.

Im weiteren Verlauf des Projektes wird die Datenbank optimiert und weiter ausgebaut. Die Analyse der Verbrauchsdaten wird parallel dazu anhand vorliegender Messwerte durchgeführt. Erste Empfehlungen an die Betriebe unter Anwendung des in diesem Kapitel vorgestellten Analyse-Tools erfolgen in Kapitel 6.

5.3 Wärmemengennachweis mit einem Hybrid Ultraschall-Durchflussmessgerät

Zwei tragbare Hybrid Ultraschall-Durchflussmessgeräte DXN vom Hersteller Badger Meter Europa GmbH werden im Projekt „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“ verwendet um die notwendigen Wärmemengen der ausgewählten Betriebe zu messen. Es wurden die Ferkelaufzuchtbetriebe BeSte1 und BeSte3 für die Erfassung der Wärmemengen ausgewählt.

Vor der Montage und Inbetriebnahme muss eine geeignete Messstrecke an der Anlage gefunden werden. Die Sensoren sollen nach Herstellerangaben einen definierten Abstand nach Abbildung 19 zu Abzweigungen, Verjüngung und Ventilen haben. Je nach Rohrdurchmesser und Anwendungsfall müssen die entsprechenden Faktoren für den Abstand der Ein- und Auslaufstrecke berücksichtigt werden. Im Fall des Betriebes BeSte1 ist die Messstrecke für den Ein- und Auslauf mehr als ausreichend.

	Rohrdurchmesser vor dem Gerät als Einlaufstrecke	Rohrdurchmesser nach dem Gerät als Auslaufstrecke
	*	**
	24	5
	14	5
	10	5
	10	5
	10	5
	24	5

Abbildung 19: Ein- und Auslaufstrecke

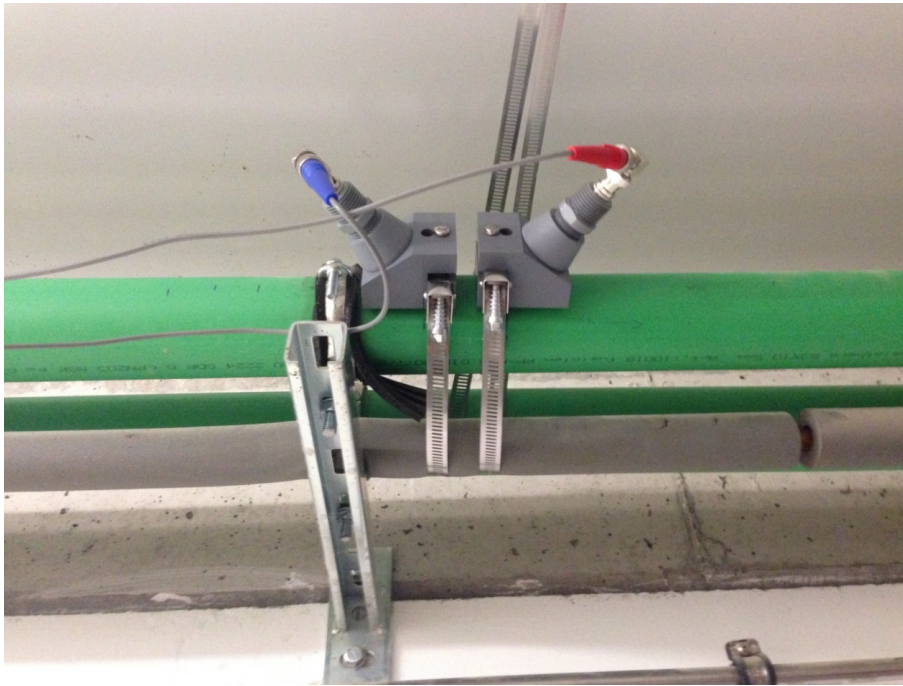


Abbildung 20: Sensoren am Projektstandort

Wenn die geeignete Messtrecke ausgewählt ist, muss das Rohr von Schmutz gereinigt werden. Eventuell vorhandene Unebenheiten an den Rohren sind mit einer Drahtbürste zu entfernen. Im Fall des Betriebes BeSte1 liegt ein Polypropylenrohr vor. Das Rohr muss nur mit einem feuchten Tuch abgewischt werden.

5.3.1 **Projekt anlegen und Parameter einstellen**

Zunächst muss ein neues Projekt im Messgerät angelegt werden damit die Messwerte auch aufgenommen werden können. Das zu messende Medium ist in unserem Fall Wasser. Das bedeutet es wird das Laufzeitverfahren angewendet. Das Dopplerverfahren wird nur bei Medien mit einem hohen Feststoffanteil verwendet. Dann werden die Rohrparameter eingegeben, Außendurchmesser und Wandstärke. Bei der Messung der Rohrwanddicke mittels Ultraschall schwankte der Wert für die Wanddicke im Bereich von 3,0 – 9,5 mm und war daher zu ungenau. Bei den vorhandenen Polypropylenrohren sind allerdings meist die geometrischen Daten aufgedruckt, sowie die genaue Bezeichnung des Materials. Eine zusätzliche Isolierung war nicht vorhanden.

5.3.2 **Auswahl der Sensoren und Sensoranordnung**

Die Sensoren und Sensoranordnung werden zuerst nach Art des Mediums und des Rohrdurchmessers ausgewählt (Tabelle 5.3). Für das Rohr werden

DTTN Sensoren mit einer V-Anordnung (Abbildung 21 und Abbildung 22) verwendet.

Tabelle 5.3: Auswahl der Sensoranordnung

V-Anordnung	DTTN/DTTH	Kunststoff (alle)	203 - 406 mm (4 - 12")
		Kohlenstoffstahl	
		Edelstahl	
		Kupfer	100 - 750 mm (4 - 30")
		Duktiles Eisen	
		Gusseisen	50 - 300 mm (2 - 12")
	DTTL	Kunststoff (alle)	
		Kohlenstoffstahl	
		Edelstahl	
		Kupfer	
		Duktiles Eisen	406 - 1220 mm (16 - 48")
		Gusseisen	
		Gusseisen	406 - 915 mm (16 - 36")
		Gusseisen	
		Gusseisen	406 - 1220 mm (16 - 48")
		Gusseisen	
		Gusseisen	406 - 750 mm (16 - 30")
		Gusseisen	

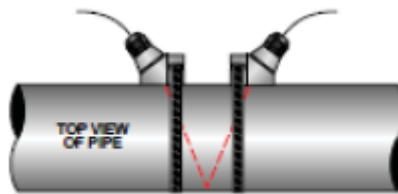


Abbildung 21: V-Anordnung der Sensorköpfe

Die Sensoren werden mit den Spannbändern in einem vordefinierten Abstand angebracht. Damit ist der Abstand zwischen den Ausrichtungsmarkierungen an den Sensor gemeint (siehe Abbildung 22). Der Abstand wird vom Gerät selbst vorgegeben wenn man die Rohrparameter und die Sensoranordnung in das Gerät eingibt.

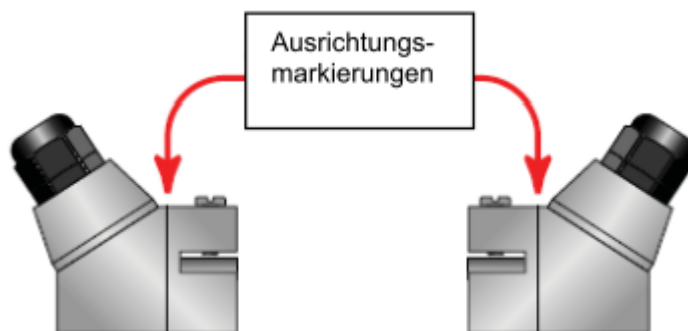


Abbildung 22: Ausrichtungsmarkierungen an den Sensoren

5.3.3 Anbringen der Sensoren

Beim Anbringen der Sensoren wird ein ca. 12 mm großer Tropfen Kopplungsgel auf die Oberfläche beider Sensoren aufgetragen. Danach werden die Sensoren im entsprechenden Abstand seitlich am Rohr mit den Spannbändern befestigt.

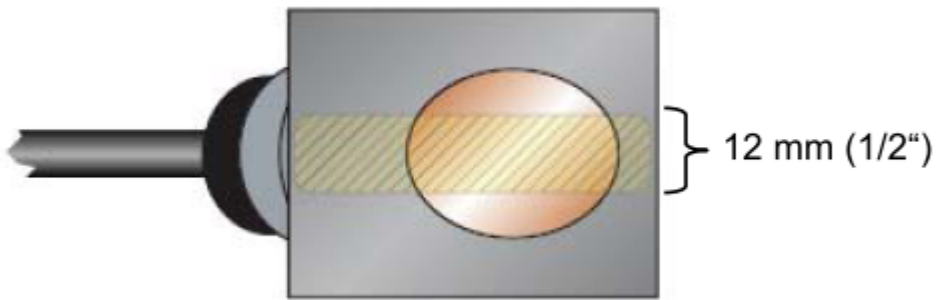


Abbildung 23: Kopplungsgel auf den Sensoren

Nachdem die Sensoren auf den Rohren befestigt sind müssen noch die Kabel sicher befestigt und verlegt werden (Abbildung 23).



Abbildung 24: Verlegen der Sensorkabel

5.3.4 Anbringen der Temperatur Sensoren

Die Temperatur Sensoren werden einfach am Vor- und Rücklauf der Heizung angebracht (in Abbildung 24: Verlegen der Sensorkabel oben am Rohr). Vor dem Anbringen werden die Oberflächen der Rohr ebenfalls gereinigt und ein

tropfen Wärmeleitpaste aufgetragen. Danach können die Temperatursensoren mit Klebeband oder Kabelbinder befestigt werden.



Abbildung 25: Montage der Temperatursensoren

5.3.5 **Messung einstellen**

Wenn die Sensoren angebracht und angeschlossen sind werden die letzten Einstellungen im Reiter „Messung“ vorgenommen. Die Signalqualität des Durchflusses sollte mehr als 10% betragen. Falls das nicht der Fall ist muss der Sensor woanders befestigt werden oder eine andere Sensoranordnung gewählt werden. Ist die Signalqualität i. O. können die Sensoren montiert werden. Aus den ermittelten Werten wird dann die Wärmemenge berechnet und gespeichert.



Abbildung 26: Energieanzeige



Abbildung 27: Durchflussanzeige

6. Exemplarische Auswertung, Darstellung und Analyse der Stromverbrauchsdaten

6.1 Erläuterung der Stallarten und ihrer Hauptstromverbraucher

In Landwirtschaftsbetrieben mit Nutztierhaltung entfällt der größte Anteil des Stromverbrauchs auf die Milchgewinnung (Milchwirtschaft), die Stallbelüftung (Schweinemast) beziehungsweise die Ferkelnestbeheizung (Sauenstall und Ferkelaufzucht). [5] Im Folgenden werden die jeweiligen Stallarten mit ihren anteiligen Hauptstromverbrauchern vorgestellt. Im Anschluss werden die Ziele und Möglichkeiten beschrieben, wie die in der aufgebauten Datenbank befindlichen Energieverbrauchsdaten mithilfe des entwickelten Analyse-Tools ausgewertet und dargestellt werden können.

6.1.1 *Milchviehbetriebe*

In Milchviehbetrieben werden Kühe zur Milchproduktion gehalten. Ebenso erfolgt die Aufzucht und Haltung junger Rinder in diesen Betrieben. Die wesentlichen elektrischen Verbraucher sind in Abbildung 28 dargestellt.

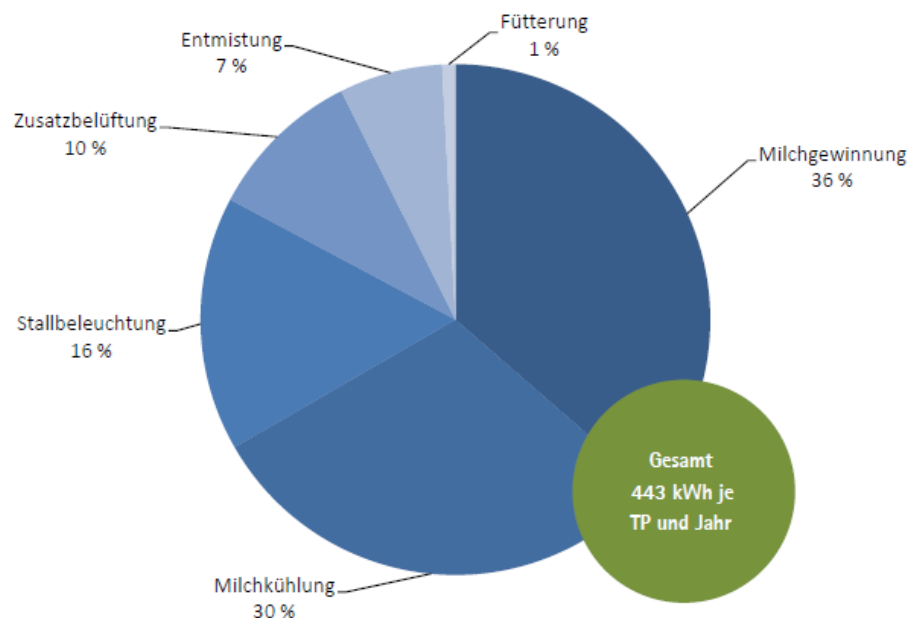


Abbildung 28: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Milchviehhaltung [6]

Auffällig ist, dass die Milchgewinnung mit 36% den größten elektrischen Energieeinsatz erfordert, gefolgt von der Milchkühlung (30%) und der Beleuchtung

(16%). Bei der Milchkühlung sind die wesentlichen Stromverbraucher die Verdichter der Kühlaggregate, die Ventilatoren am Verflüssiger der Kühlaggregate sowie die Rührwerke der Milchlagertanks, ohne die eine Lagerkühlung nicht steuerbar wäre. [5] Die Milchgewinnung fasst im Allgemeinen den Melkvorgang und die Reinigung zusammen. Zum Melken muss im Melksystem ein Unterdruck erzeugt werden, in der Regel werden dafür Vakuumpumpen eingesetzt. [6] Im Rahmen des Projektes „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“ werden aufgrund ihres erwartungsgemäß hohen anteiligen Stromverbrauchs die Komponenten zur Milchgewinnung und Milchkühlung erfasst (vgl. Tabelle 4.1). Insbesondere bei der Milchkühlung gilt es, verschiedene Konzepte zur Kühlung der Milch zu berücksichtigen. Je nach Methode der Milchkühlung unterscheidet sich auch der nötige Energieaufwand.

Direktkühlung

Bei dieser Art der Milchkühlung wird die Milch direkt mittels einer Kältemaschine nach dem Melkvorgang gekühlt. Der Wärmeaustausch erfolgt direkt zwischen Kältemittel und Milch. Entsprechend weisen derartige Kühlungsanlagen hohe Wirkungsgrade auf. [7] Da die Milch jedoch aus hygienischen Gründen sofort im Anschluss an den Melkvorgang gekühlt werden muss, ist diese Technik an die Melkzeiten gebunden. [5, 6]

Vorkühlung mit Direktkühlung

Der Energieverbrauch der Milchkühlung mittels Direktkühlung kann durch Vorkühlung der Milch mit Leitungs- oder idealerweise Brunnenwasser verringert werden. Die Milch wird mit etwa 35 °C gemolken und muss möglichst schnell auf eine Lagertemperatur von etwa 5 °C heruntergekühlt werden. Mit 1 bis 2 Litern Kaltwasser je Liter zu kühlender Milch wird die Milchttemperatur um ca. 50% auf 16 bis 18 °C abgekühlt. Dadurch braucht nur die Hälfte der Abkühlung mit der elektrischen Kältemaschine zu erfolgen. Es fallen jedoch in der Regel zusätzliche Kosten aufgrund des erhöhten Wasserverbrauchs an. [5, 6, 7]

Eiswasserkühlung

Hier erfolgt zunächst die Produktion von Eiswasser. Dieses wird anschließend zur Kühlung der Milch genutzt. Der Vorteil dieser Technik liegt in der Entkopp-

lung von Melk- und Eiswasserproduktionszeiten. So konnten in der Vergangenheit günstige Nachtstromtarife (Niedertarif) zur Eiswasserproduktion genutzt werden, während der Stromverbrauch zu (teureren) Tagestarifen (Hochtarif) vermindert wurde (Umwälzpumpen). Im Rahmen der Energiewende und Demand Side Management kann diese Technik zur Lastverschiebung genutzt werden. Annähernd die gesamte Leistung zur Milchkühlung kann auf diese Weise verschoben werden. Ein Nachteil ergibt sich aus dem geringeren Wirkungsgrad aufgrund zweifacher Wärmeübertragung (Milch/Eiswasser, Eiswasser/Kältemittel) sowie Speicherverlusten. Der Mehrenergieverbrauch kann mit rund 20 % im Vergleich zur Direktkühlung angegeben werden. [5, 6, 7]

Im Hinblick auf erster Abschätzungen möglicher Lastverschiebepotenziale in der Milchviehwirtschaft, werden im nächsten Abschnitt Standardlastprofile betrachtet, welche speziell für diese Art landwirtschaftlichen Betriebes von den Netzbetreibern veröffentlicht werden.

Standardlastprofile in der Milchviehwirtschaft

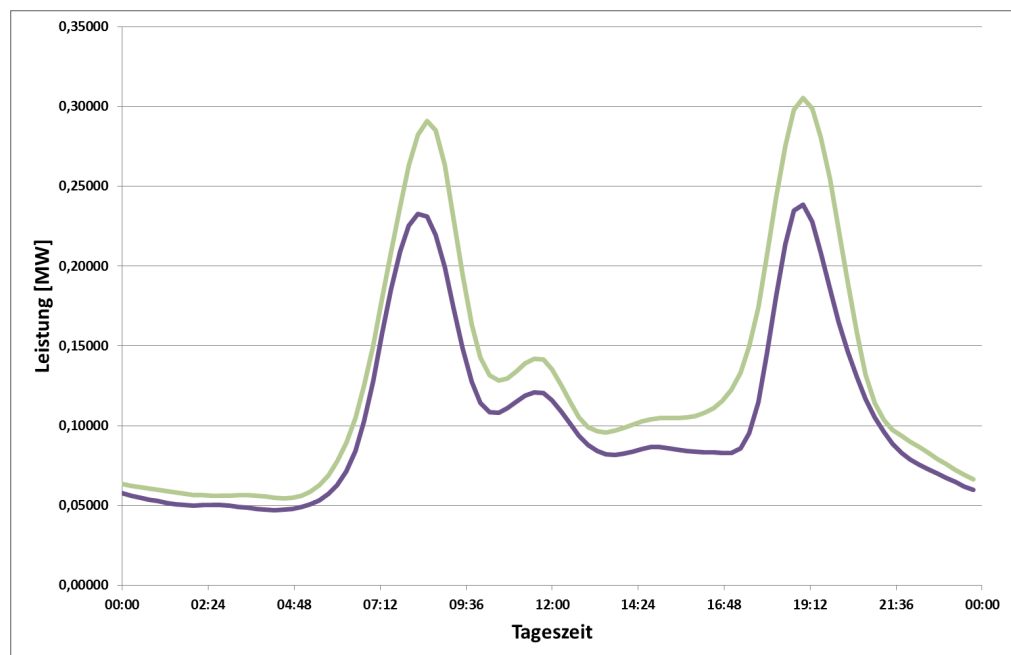


Abbildung 29: Standardlastprofil eines Milchviehbetriebs [8]

Die dargestellten Lastgänge in Abbildung 29 zeigen Minimal- und Maximalleistungsbedarf über einen Tag eines Milchviehbetriebes. Der Jahresenergiebedarf ist auf 1000 kWh normiert (SLP L1 - Landwirtschaftsbetriebe mit Milchwirtschaft/Nebenerwerbs-Tierzucht). Dieses Profil wird bei Milchviehbetrieben angewendet, bei denen der Stromverbrauch durch das zweimalige Melken und

das anschließende Herunterkühlen der Milch geprägt ist. Deutlich zu erkennen sind die beiden Leistungszunahmen, welche in den Morgen- und Abendstunden auftreten. Zurückzuführen sind diese Lastspitzen auf den angesprochenen Energiebedarf der Milchgewinnung. [9] Die gezeigten Peaks können - geht man davon aus, dass eine Lastverschiebung mittels Eiswasserkühlung erfolgt - um etwa 50% gesenkt werden. [6,7] Die Last muss entsprechend nachgeholt werden. Dies bietet sich zu Zeiten besonders günstiger Energiebereitstellung an (z.B. in den Mittagsstunden bei Kombination mit einer Photovoltaikanlage). An dieser Stelle kann bereits festgehalten werden, dass bei entsprechender technischer Ausstattung sowohl Lastverschiebepotenziale, als auch Energieeffizienzsteigerungen in Milchviehbetrieben vorhanden sein können. Genauere Aussagen können nach Auswertung der durchgeführten Messungen getroffen werden. Aufgrund der angesprochenen Problematik bei der Verbrauchsdatenübermittlung in Kapitel 4.1.4 wird in dieser Arbeit keine Auswertung eines Milchviehbetriebes vorgenommen. Im weiteren Verlauf des Projektes „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“ sind aussagekräftigere Analysen von BeSte-Betrieben möglich (siehe Kapitel 3.3).

6.1.2 **Sauen- und Ferkelaufzuchtbetriebe**

Der Sauenstall stellt den Oberbegriff der verschiedenen Haltungsabschnitte in der Sauenhaltung bzw. der Ferkelaufzucht dar. Zunächst findet im meist unbeheizten Deckstall die künstliche Befruchtung der Sauen statt, die nachfolgend für die Dauer der Trächtigkeit in den Wartestall verlegt werden. Kurz vor dem Abferkeln werden sie umgestallt und halten sich für die Geburt der Ferkel und die erste Phase der Ferkelaufzucht bis zum Absetzen für ca. 4 Wochen im mindestens 30 °C temperierten Abferkelstall auf. Dieser ist in Abferkelabteile für jeweils eine Muttersau mit ihren Ferkeln unterteilt. Sobald die Ferkel entsprechende Eigenschaften zur Verlegung vorweisen, werden sie in den Ferkelaufzuchtstall verlagert (vgl. Abbildung 30). [9, 10, 11]

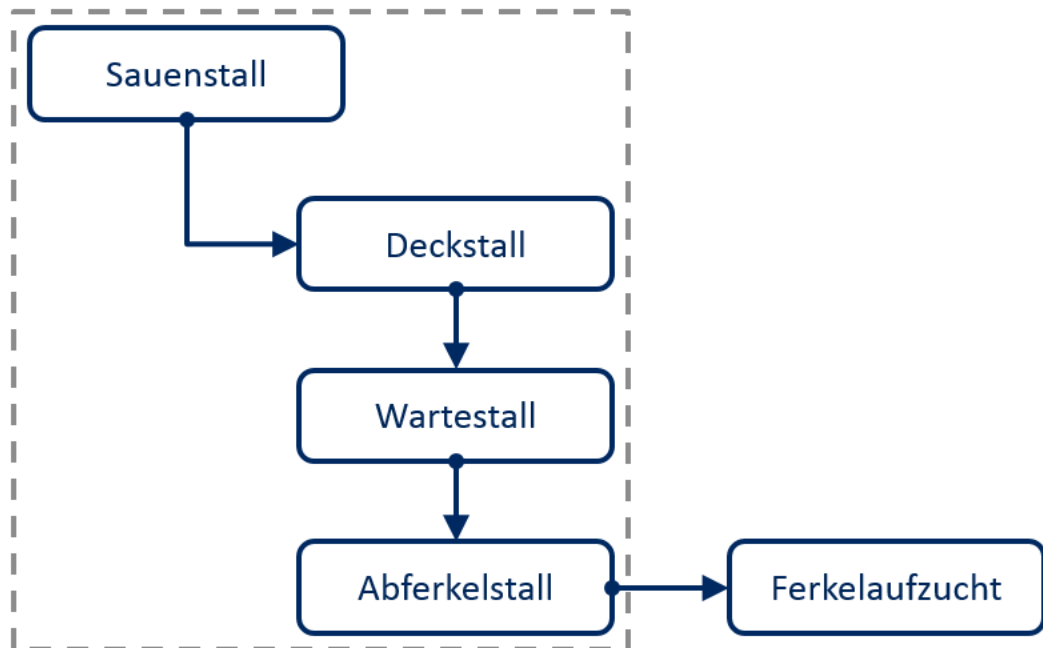


Abbildung 30: Schema von Sauen- und Ferkelaufzuchtbetrieben
(eigene Darstellung nach [12])

Der Ferkelaufzuchtstall ist räumlich von dem Sauenstall getrennt und in mehrere Abferkelabteile für die unterschiedlichen Alter der Ferkel unterteilt. Sie weisen verschiedene Temperaturniveaus von 20 bis 16 °C auf. [12, 13] Mit zunehmendem Alter, werden die Ferkel in den niedriger temperierten Bereichen aufgezogen. Die wesentlichen Verbraucher der Ferkelerzeugung und Ferkelaufzucht sind Abbildung 31 und Abbildung 32 zu entnehmen.

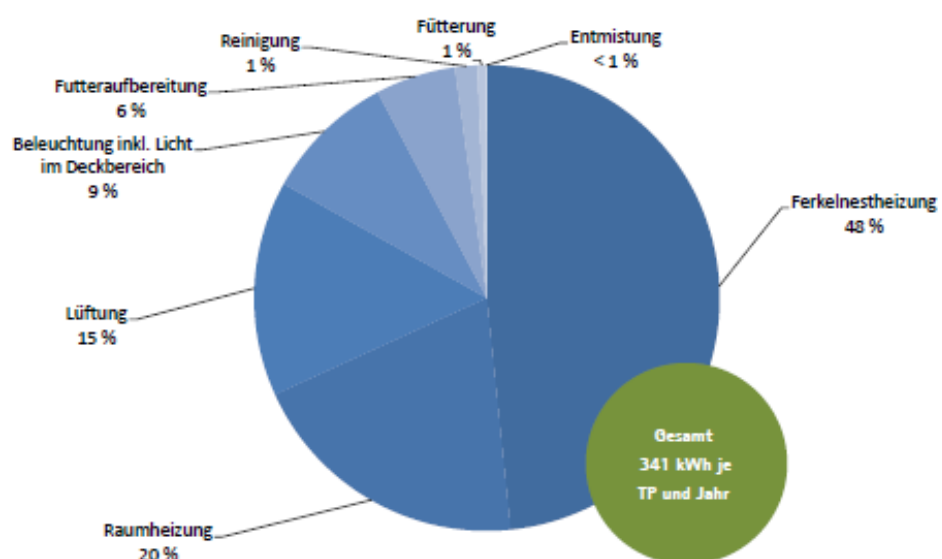


Abbildung 31: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Ferkelerzeugung mit geschlossenem, zwangsbelüftetem Stall [6]

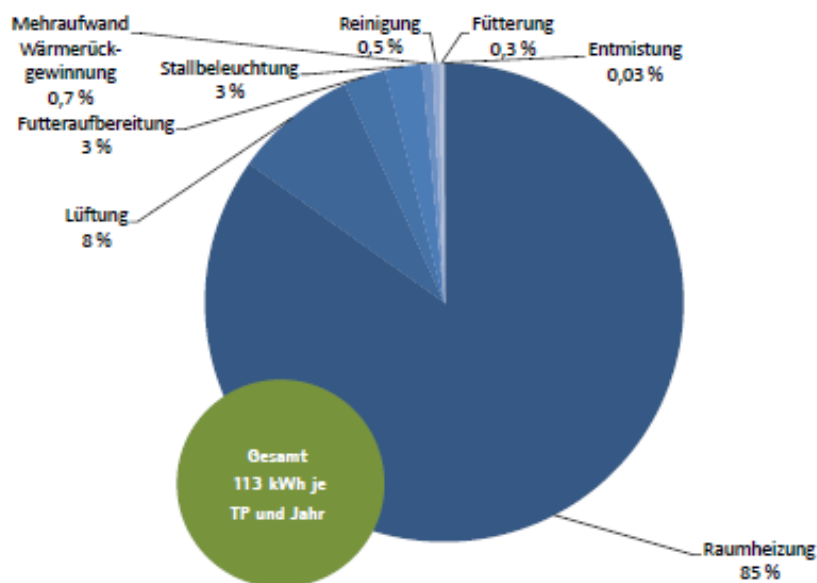


Abbildung 32: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Ferkelaufzucht mit geschlossenem, zwangsbelüftetem Stall und Wärmerückgewinnung [6]

Als Hauptverbraucher können die Anlagen zur Erhaltung eines tiergerechten Stallklimas (Raum-, Ferkelnestheizung und Lüftung über 60% Gesamtenergiebedarf) identifiziert werden. Geschlossene, zwangsgelüftete Ställe sind der Standard in der Schweinehaltung. [6] Entsprechend hoch ist daher auch der Bedarf an elektrischer Energie für die Lüftung. Dazu kommt, dass Ferkel im Vergleich zu Mastschweinen und Sauen einen höheren Anspruch an ihre Umgebungstemperatur haben. Damit die erforderliche Temperatur im Stall erreicht wird, muss geheizt werden. Der Energieverbrauch hängt vom Heizsystem, der Wärmeverteilung sowie dem Wand- und Deckenaufbau des Stallgebäudes ab. Sowohl Infrarotlampen oder Warmwasserbeheizte Fußbodenheizungen, welche ein Auskühlen der jungen Ferkel verhindern, als auch Beleuchtungseinrichtungen, welche fehlendes Tageslicht ersetzen, lassen wenige bis keine Optimierungs- und Lastverschiebepotenziale aufgrund festgelegter Einsatzzeiten erwarten. Allerdings sind Effizienzverbesserungen durch den Austausch von veralteten Leuchtmitteln, beispielsweise durch den Einsatz von LED-Leuchtmitteln, möglich. [7, 9, 10, 11, 18, 19] Im Projekt „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“ werden daher die elektrischen Verbraucher, also Lüftungseinrichtungen, Fütterungsanlagen und Fütterungsanlagenteile, sowie bei Bedarf Beleuchtungseinrichtungen näher untersucht.

Lüftung

Die Lüftungsanlagen stellen ein angemessenes und überlebenswichtiges Stallklima sicher. Eingriffe müssen wohlüberlegt und gut geplant werden. Je nach installierten Anlagen kann der Austausch von Komponenten zwecks Effizienzverbesserung sinnvoll sein. [10] Während des Betriebes der Anlage sollten Lüftungsanlagen regelmäßig gereinigt werden, da Schmutz den Strömungswiderstand erhöht. Ebenso sollten Temperaturfühler regelmäßig von Schmutz befreit werden. Die Installation von Ventilatoren mit z.B. EC-Motoren (elektronisch kommutierte Motoren) ermöglicht eine Regelung im Teillastbereich, wodurch die Leistung der Ventilatoren an den tatsächlichen Lüftungsbedarf angepasst werden kann. Hierdurch lässt sich nicht nur die Lüftung optimieren, sondern auch der Strombedarf der Ventilatoren reduzieren. [6, 11, 12]

Fütterung

Die Fütterung der Tiere erfolgt stets zu festgelegten Zeiten, was sich positiv auf die Gesundheit derselben auswirkt. Festgelegte Fütterungszeiten sollten eingehalten werden. Aufgrund der in Gruppen herrschenden Sozialstruktur pflegen die Tiere gleichzeitig zu fressen bzw. gleichzeitige Fresszeiten einzuhalten. [14] Die Zeiten der Futterzubereitung (Mahlen, Vermischen) können dagegen, bei ausreichend Speichermöglichkeiten, verlagert werden. [6, 11, 12] Die Wahl des Fütterungsverfahrens ist in der Schweinemast von entscheidender Bedeutung, da ca. 50% der Kosten in der Schweinemast auf die Futterkosten entfallen. [15] Grundsätzlich kann zwischen Flüssig- und Trockenfütterung unterschieden werden. Allgemein ist die Futterversorgung heute aber stark automatisiert. Die beiden Fütterungsverfahren werden im nachfolgenden Kapitel 6.1.3 näher erläutert, da es sich um grundsätzliche Verfahren im Betriebszweig Schweinestall handelt. Zunächst wird ein Standardlastprofil betrachtet.

Standardlastprofile in der Sauen- und Ferkelaufzucht

Für Sauen- und Ferkelaufzuchtbetriebe existiert vom Übertragungsnetzbetreiber kein spezielles Standardlastprofil. Derartige Betriebszweige in der Landwirtschaft werden vom Übertragungsnetzbetreiber im Standardlastprofil L2 dargestellt (SLP L2 - Landwirtschaft ohne Milchvieh, siehe Abbildung 33).

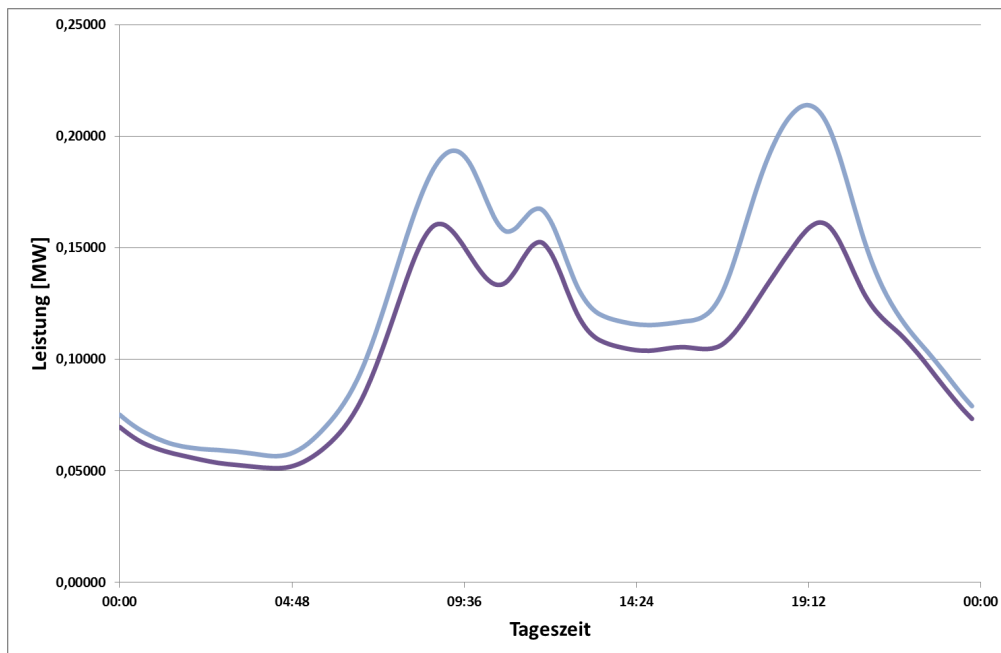


Abbildung 33: Standardlastprofil Landwirtschaft ohne Milchvieh [8]

Traditionell findet sich bei den meisten westdeutschen Betrieben ein Nebeneinander von Haushalt und Produktion. Für solche Betriebe ist dieses mittlere Profil anzuwenden. [8] Die dargestellten Lastgänge in Abbildung 33 zeigen ebenfalls den Minimal- und Maximalleistungsbedarf über einen Tag. Es ist ein deutlicher Leistungsanstieg in den Morgenstunden zu erkennen, der sowohl auf die einsetzenden Fütterungsverfahren in der Tierhaltung, als auch auf Verbraucher im Haushalt zurückzuführen ist. Die Lüftungs- und ggf. elektrische Heizungsanlagen laufen in Abhängigkeit zur Außen- und daraus resultierenden Stalltemperatur kontinuierlich über den Tag verteilt. Die Leistungszunahme in den Abendstunden geht demnach ebenfalls einher mit dem Leistungsbezug im Haushalt des Landwirts (z.B. Beleuchtung) und weiterer Futterationen in den Ställen. [7, 8, 9]

6.1.3 **Schweinemastbetriebe**

Schweinemastbetriebe sind darauf spezialisiert Ferkel von ca. 20 kg auf das gewünschte Schlachtgewicht, meist 100 bis 105 kg, zu mästen. Die Mästung dauert rund 110 Tage, je nach Veranlagung und Züchtung der Tiere. Ein Mastplatz kann somit ca. 3 Schweine pro Jahr mästen.

Die benötigte Energie für die Schweinemast lässt sich auf 59 kWh pro Tierplatz im Jahr beziffern. Abbildung 34 zeigt den energetischen Anteil der Hauptverbraucher.

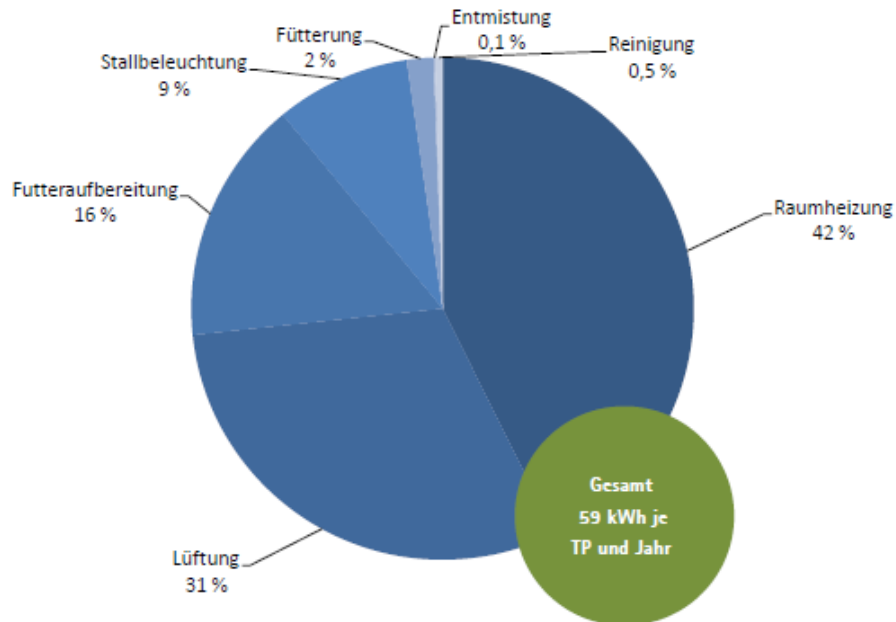


Abbildung 34: Durchschnittlicher Strom- und Wärmebedarf aus Modellkalkulationen in der Schweinemast ohne Abluftreinigung in einem geschlossenen, zwangsbelüfteten Stall [6]

Diese Energie teilt sich im Wesentlichen auf die Futtermittelzubereitung, Fütterung, Beleuchtung und das Klimamanagement im Stall auf. Es fällt auf, dass die Energie maßgeblich für das Stallklima (73%) verwendet wird. Ventilatoren und Stellmotoren für Lüftungsschächte müssen über den gesamten Zeitraum der Mast durchlaufen. Besonders im Sommer sind hohe elektrische Lasten bei der Stalllüftung zu erwarten. Den zweitgrößten Hauptverbrauchsbereich bildet das Fütterungssystem mit 18%. Der Verbrauch der Lüftung und Fütterung hängt stark vom eingesetzten System ab. Im Projekt „Intelligente Energie in der Landwirtschaft“ werden daher in diesem Betriebszweig analog zur Sauen- und Ferkelaufzucht vornehmlich die elektrischen Verbraucher, also Lüftungseinrichtungen, Fütterungsanlagen und Fütterungsanlagenteile, sowie bei Bedarf Beleuchtungseinrichtungen näher untersucht.

Lüftung

Die Abluftführung in Schweineställen erfolgt je nach umwelt- oder stallspezifischen Anforderungen entweder zentral oder dezentral mit Unter- oder Ober-

flurabsaugung. Hinsichtlich des Stromverbrauchs ist die dezentrale Oberflurabsaugung gegenüber anderen Systemen im Vorteil. Wie bereits erwähnt haben Mastschweine geringe Ansprüche an ihre Umgebungstemperatur. [6, 14, 15]

Trockenfütterung

In Abbildung 35 ist ein typischer Tageslastgang eines Schweinemastbetriebs mit einer Trockenfütterung dargestellt. Die Grundlast besteht aus dem Lüftungssystem des Stalls und schwankt nur minimal. Die Trockenfütterung wird typischerweise nur einmal am Tag angestellt, um die Futterautomaten mit Mehl zu füllen. Die Futterlagerung erfolgt als Fertigfutter oder nach Erstellen einer eigenen Futtermischung in einem Vorratssilo. Von dort erfolgt der Transport mobil über einen Futter(verteil)wagen oder stationär mit Rohrketten- oder Drahtseilförderer bzw. Drahtwendelförderer zu den Dosier- und Vorlagestellen. Die Futtervorlage kann über unterschiedliche Trogformen erfolgen. Das Mehl kann auch mittels einer Mühle bereitgestellt und dann mit den Förderschnecken zu den Automaten transportiert werden. [7, 14, 15]

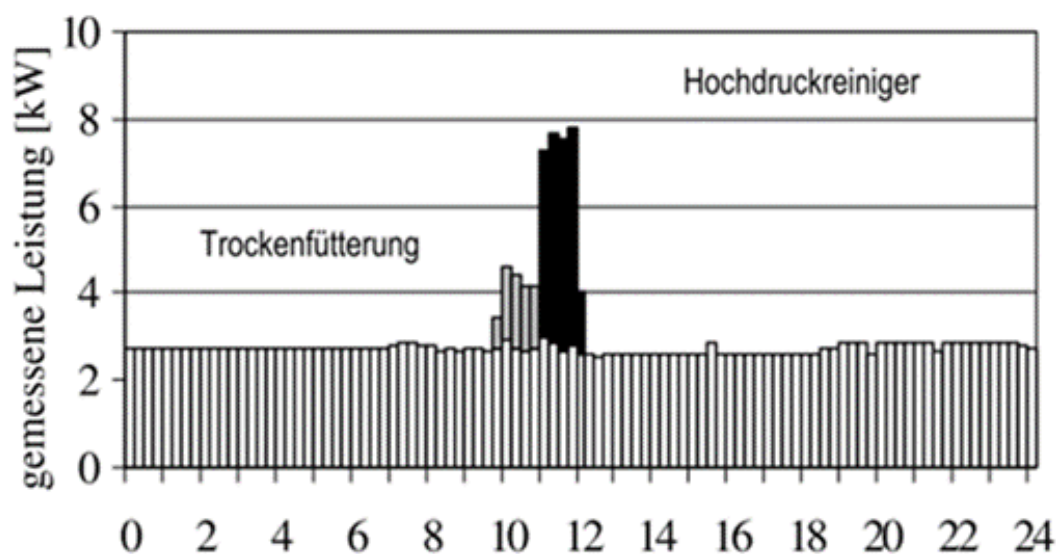


Abbildung 35: Typischer Lastgang in der Schweinemast mit Trockenfütterung [9]

Der dargestellte schwarze Balken stellt den Leistungsbedarf des Hochdruckreinigers dar. Die Reinigung mit Hochdruckreinigern ist relativ leistungsintensiv und spiegelt sich in dem Tageslastgang als deutlicher Peak wieder. Die benötigte Energie für die Reinigung beziffert sich über ein Jahr jedoch nur auf 0,5% (siehe Abbildung 34), da eine Reinigung nur nach Ende eines Mastgangs nötig ist. [6, 9, 11]

Flüssigfütterung

In Abbildung 36 ist der typische Tageslastgang eines Schweinemastbetriebs mit einer Flüssigfütterung dargestellt.

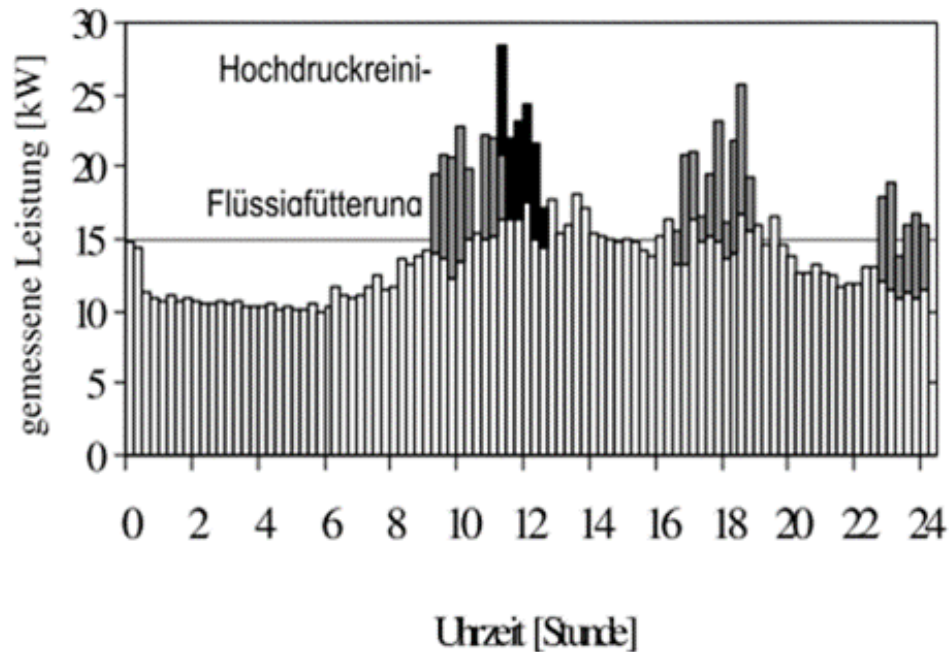


Abbildung 36: Typischer Lastgang in der Schweinemast mit Flüssigfütterung [9]

Die Flüssigfütterung wird mehrmals täglich (fixe Zeitabstände) durchgeführt und spiegelt sich in den drei Peaks wieder. Das Fütterungssystem bestehend aus Mühle, Mischer und Förderpumpe wird am Markt in verschiedenen Varianten angeboten und bedarf einer genauen Systemanalyse um energetische Rückschlüsse ziehen zu können. [6, 7, 11, 14, 15] In der Futterzentrale ist ein Wiege-Mischbehälter aufgestellt, in dem die Futterration angemischt wird. Entsprechend der im Prozessrechner vorgegebenen Ration und der zu versorgenden Tierzahl werden flüssige und feste Komponenten aus den Vorratsbehältern bzw. Silos abgerufen. Durch das Verhältnis von Wasser zu festen Bestandteilen von 2:1 bis 3:1 entsteht ein Futterbrei. Die Futtertransportleitung wird als Ringleitung ausgeführt, sodass jedes Abteil in der Regel von einem eigenen Futterkreislauf versorgt werden kann. Mit Pumpen wird das Futter über Rohrleitungen zum Trog geleitet. Elektropneumatische Ventile, Füllstandsmelder bzw. Sensoren am Trog übernehmen die Dosierung. Vorteil dieser Anlagen ist, dass praktisch alle Futtermittel, trocken oder fest, z.B. auch Nebenprodukte aus der industriellen Aufbereitung von Lebensmitteln, verwen-

det werden können. Auch bezüglich der Anpassung an Gebäude, Transportwege und -entfernungen sind die Anlagen flexibel. [14, 15] Allerdings ist das mit Wasser vermischte Trockenfutter relativ schnell Umsetzungen unterworfen, sodass die hygienischen Anforderungen an Mischbehälter, Rohrleitungen und Tröge hoch sind. Insbesondere sollten die Tröge auch bei Sensorfütterung einmal täglich vollständig leer gefressen werden. Die Mischbehälter werden automatisch gereinigt, Anmischbottiche und Rohrleitungen sind regelmäßig, ca. alle vier Wochen, mit Säure- und Laugenlösungen zu spülen und die Rohrleitungen mit Wasser zu reinigen. [14] Der schwarze Balken stellt auch hier den Leistungsbedarf des Hochdruckreinigers dar.

Standardlastprofile in der Schweinemast

Für Schweinemastbetriebe existieren genauso wie für Sauen- und Ferkelaufzuchtbetriebe keine vom Übertragungsnetzbetreiber zur Verfügung gestellten speziellen Standardlastprofile (vgl. Kapitel 6.1.2 und Abbildung 33). Als erste grobe Orientierung dienen daher die gezeigten Lastprofile in Abbildung 35 und Abbildung 36. Bei den dort gezeigten Lastprofilen und den unterschiedlichen Systemen zur Futterbereitstellung (Trocken- und Flüssigfütterung) sind geringe Lastverschiebepotentiale zu erwarten. Die Trockenfütterung füttert einmal täglich. Die vollen Fütterungsautomaten können als Speicherkapazität genutzt werden und ermöglichen ein Verschiebepotential. Die Flüssigfütterung hat ein begrenzteres Verschiebepotential, da die Zeitabstände der einzelnen Fütterungen eingehalten werden sollten und aufgrund der Umsetzungen eine längere Lagerung des angemischten Futters kaum möglich ist. Beide Systeme benötigen jedoch in der Regel Mehl zur Fütterung, daher kann ein Mehlspeicher (Silo) ein Verschiebepotential der energieintensiven Mühle realisieren. Des Weiteren sind Energieeffizienzsteigerungen und Optimierungen durch den Austausch bestehender Komponenten in der Lüftungs- und Beleuchtungstechnik durch moderne Komponenten zu erwarten.

6.2 Ziele und Möglichkeiten der Energieverbrauchsdatenanalyse

Die im Kapitel 6.1 erläuterten Grundlagen und Annahmen für die zu untersuchenden Betriebszweige im landwirtschaftlichen Bereich haben die Hauptstromverbraucher herausgestellt. Nun lassen sich, unter Berücksichtigung von

Kapitel 2 und Kapitel 4, folgende Ziele im Zuge der Datenerhebung und anschließender Analyse formulieren:

- Empfehlungen für energieeffiziente Komponenten erarbeiten
- Untersuchung des Lastverschiebepotentials in den verschiedenen Betrieben
- Ermittlung von Unregelmäßigkeiten des Stromverbrauchs

Als Gesamtziel ist vorgesehen, dass die Projektpartner landwirtschaftliche Betriebe hinsichtlich energetischer Optimierungen, mit den in diesem Projekt erarbeiteten Tools aus Kapitel 5, beraten können. Somit können sowohl die Reaktionsmöglichkeiten der Landwirtschaft auf flexible Strompreise und steigende Wärmekosten als auch Empfehlungen für Einsparpotentiale aufgezeigt werden.

Angesichts der Tatsache, dass pro Zähler ca. 35.000 Messdaten pro Jahr aufgezeichnet werden, müssen die Möglichkeiten der Auswertung in quantitative und qualitative unterteilt werden. Aufgrund der immensen Datenmenge, ist es zunächst erforderlich ohne Berücksichtigung der spezifischen Betriebsdaten den typischen Energiekonsum eines Messpunktes quantitativ zu bestimmen. Die Möglichkeiten der quantitativen Auswertungen werden im Folgenden aufgezählt.

- Feststellen der Verbräuche je Zähler, durch Addition ergibt sich der Gesamtverbrauch der Messpunkte
- Aufteilung der anteiligen Energieverbräuche auf die Messpunkte in einem Betrieb oder Stall: z.B. Ferkelaufzucht: Lüftung, Fütterung, Beleuchtung etc.
- Erstellung von Lastprofilen, um tageszeitliche, wochentagsabhängige oder saisonale Schwankungen des Energieverbrauchs festzustellen

Weiterführende, also qualitativere Analysen sind nur durch Einzelfallbetrachtungen möglich. Das liegt vor allem daran, dass sich die Produktionsverfahren innerhalb der ausgewählten Betriebe gleichen Typs hinsichtlich des Energiebedarfs stark unterscheiden. Des Weiteren sind die meisten Betriebe, unter

sich ständig verändernden Rahmenbedingungen, historisch gewachsen. Allein dadurch können sich betrieblichen Abläufe von Betrieb zu Betrieb unterscheiden. Somit können qualitative Aussagen nur durch eine auf den Anwendungsfall bezogene Analyse getroffen werden. Die Möglichkeiten der Analyse unter Berücksichtigung der betriebsspezifischen Daten werden im Folgenden aufgezählt:

- Bildung von spezifischen Energieverbrauchskennzahlen (z.B. produktbezogen kWh/Tier*a oder Tierplatz-bezogen kWh/TP*a)
- Überprüfung der gebildeten spezifischen Energieverbrauchskennzahlen auf Plausibilität, z.B. durch einen Abgleich mit den Energiebedarfszahlen der KTBL
- Zeitpunkte, Dauer und Häufigkeit des Energieverbrauchs eines Messpunktes bestimmen. Anschließend mit den betriebsspezifischen Daten auf Plausibilität abgleichen.
- Bewertung der Effizienz der verbauten Komponenten

Werden ferner Anlagen und Komponenten untersucht, die aufgrund ihrer Funktion (z.B. Lüftung, Heizung oder Kühlung) durch klimatische bzw. jahreszeitliche Veränderungen einen anderen Energiebezug erwarten lassen, können unter Berücksichtigung der Wetterdaten Rückschlüsse auf die Effizienz der verbauten temperaturabhängigen Anlagen und Komponenten getroffen werden.

Im weiteren Verlauf werden zunächst die erhobenen Wärmemengen der Betriebe BeSte1 und BeSte3 ausgewertet sowie bewertet. Danach werden die Betriebe RWE1, RWE2 und RWE4 quantitativ ausgewertet und im Anschluss die entsprechenden Messpunkte in den Betrieben qualitativ, hinsichtlich der oben angesprochenen Ziele, analysiert. Insgesamt liegen hierfür ca. 1,41 Mio. Datensätze inklusive der Wetterdaten vor, welche die Kriterien der Plausibilitätsprüfung erfüllen (siehe Kapitel 5.2.3 und Anhang A: Plausibilitätsprüfung).

6.3 Auswertung und Darstellung der Wärmemengendaten

Die vorhandenen Messdaten liegen in einem Messintervall von jeweils 10 Minuten im Format „Time (YY:MM:DD hh:mm:ss.s), Durchfluss (M3/H), RTD1-

Temperatur (C), RTD2-Temperatur (C)“ für die Zeiträume 03.02.2015 bis zum 27.05.2015 (BeSte1) und 31.03.15 bis zum 03.12.15 (BeSte3) vor

Aufgrund der Tatsache, dass der Datenlogger zwischen den jeweiligen Messblöcken neugestartet wird, liegt hier eine Verschiebung des Zeitintervalls vor. Zudem hat sich gezeigt, dass die jeweiligen Zeiträume sehr lückenhaft sind. Zum einen durch den Neustart nach einem Messblock und zum anderen durch bisher ungeklärte Abbrüche der Messungen. Aus den drei Datenblöcken Durchflussmenge [m³/h], Vorlauftemperatur [°C] und Rücklauftemperatur [°C] kann die Wärmeleistung (Q) in Kilowatt [kW] nach Formel 1 berechnet werden:

$$Q = c_p * \rho_{Wasser} * \dot{m} * \Delta T$$

Formel 1: Wärmeleistung

Tabelle 6.1: Größen zur Berechnung der Wärmeleistung

c_p	Spezifische Wärmekapazität $4,186 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
ρ_{Wasser}	Dichte von Wasser $1.000 \frac{kg}{m^3}$
$\dot{m}$	Massenstrom
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur

Um die Wärmemenge in Kilowattstunden [kWh] zu erhalten, wurde die Wärmeleistung mit der Dauer zwischen den Messintervallen multipliziert (10 Minuten), siehe Formel 2:

$$Wärmemenge[kWh] = Q [kW] * \frac{10}{60} [h]$$

Formel 2: Wärmemenge

In Abbildung 37 ist eine beispielhafte Darstellung der Wärmeleistung für den BeSt3 Betrieb aufgetragen. Zu sehen sind die angesprochenen zwischenzeitlichen Aussetzer während der Wärmemengenaufzeichnung.

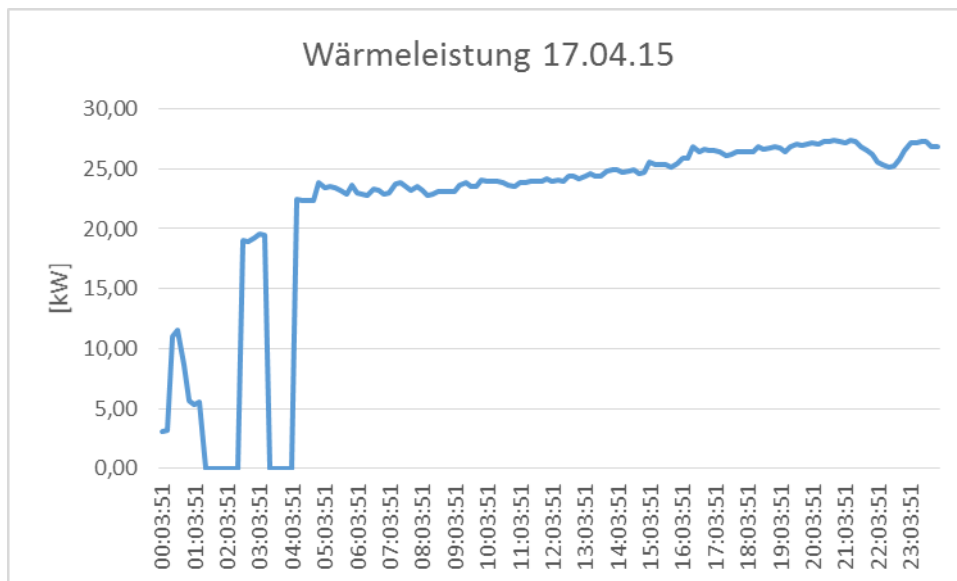


Abbildung 37: BeSte3 – Wärmeleistung am 17.04.15

In Tabelle 6.2 sind die wichtigsten Ergebnisse aus der Auswertung der Wärmemengenzähler aufgelistet. Dabei ist zu erkennen, dass BeSte1 eine höhere durchschnittliche Wärmeleistung und Wärmemenge pro Monat aufweist.

Tabelle 6.2: Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse aus Wärmemengenmessung

Ergebnisse Wärmemengenzähler		
	BeSte1	BeSte3
Messzeitraum:	≈ 3 Monate	≈ 8 Monate
Sauenplätze:	250	420
Ø-Wärmeleistung:	21,0 kW	16,7 kW
Ø-Wärmemenge pro Monat:	14.300 kWh	11.000 kWh

6.4 Bewertung der Ergebnisse aus Wärmemengenmessung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Messdaten der Wärmemengenzähler nur unvollständig ausgewertet werden konnten. Ein aussagekräftiger Vergleich des Wärmeverbrauchs beider Betriebe, war aufgrund des zu geringen Messzeitraums nicht möglich. Für aussagekräftige Auswertungen der Wärmemengenzähler sollte sichergestellt werden, dass die Messeinrichtung möglichst unterbrechungsfrei Messwerte über einen langen Zeitraum aufzeichnet. Idealerweise im Datenbankkonformen 15 Minuten Intervall, so dass die zukünftigen Messwerte ohne zusätzlich Operationen, wie beispielsweise

das interpolieren oder umrechnen auf 15-Minuten-Messwerte, in die Datenbank eingepflegt werden können.

6.5 Auswertung und Darstellung der Stromverbrauchsdaten (RWE)

Zur Übersicht können die betrachteten Messpunkte der Betriebe RWE1, RWE2 und RWE4 aus Tabelle 6.3 entnommen werden. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden demnach 20 Messpunkte näher untersucht. In Kapitel 6.6 werden die Ergebnisse diskutiert und übereinstimmende Messpunkte verglichen.

Tabelle 6.3: RWE-Betriebe und deren Messpunkte

RWE1	RWE2	RWE4
Ferkelaufzuchtstall - Trockenfütterungsketten (RWE1 F1-FE)	Ferkelaufzuchtstall - Fütterung (RWE2 F1-FE)	Ferkelaufzucht - Fütterung (RWE4 F1-FE)
Ferkelaufzuchtstall - Zentrallüftungsanlage (RWE1 L1-FE)	Ferkelaufzuchtstall - Lüftung (RWE2 L1-FE)	Ferkelaufzucht - Lüftung (RWE4 L1-FE)
Ferkelaufzuchtstall - Beleuchtungstechnik (RWE1 B1-FE)	Ferkelaufzuchtstall - Licht (RWE2 B1-FE)	-
Ferkelaufzuchtstall - sonstige Verbraucher (RWE1 S1-FE)	Ferkelaufzuchtstall - Nebenverbraucher (RWE2 S1-FE)	-
Sauenstall - Trockenfütterungsanlagen (RWE1 F2-SA)	Sauenstall - Fütterung (RWE2 F2-SA)	Sauenstall - Fütterung (RWE4 F2-SA)
Sauenstall - Lüftungsanlage (RWE1 L2-SA)	Sauenstall - Lüftung (RWE2 L2-SA)	Sauenstall - Lüftung (RWE4 L2-SA)
Sauenstall - Beleuchtungstechnik (RWE1 B2-SA)	Sauenstall - Licht (RWE2 B2-SA)	-
Sauenstall - Rotlicht im Deckzentrum (RWE1 B3-SA)	Sauenstall - Nebenverbraucher (RWE2 S2-SA)	-

6.5.1 RWE1 – 2014 und 2015

Durch Addition aller Messpunkte kann ein Lastprofil, bestehend aus beiden Stallarten (Sauen- und Ferkelaufzucht) errechnet und im Anschluss visualisiert werden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine erste Annäherung an den jeweiligen Betrieb und verdeutlicht die typischen über den Tag verteilten Leistungsaufnahmen. Der Abbildung 38 kann sowohl der gemittelte Tageslastgang für das Jahr 2014 als auch für das Jahr 2015 entnommen werden. Die Zusammensetzung des Tageslastgangs wird im weiteren Verlauf deutlicher gemacht, wenn

die Stallarten einzeln betrachtet werden. Zur ersten Einordnung kann jedoch bereits für beide Jahre festgehalten werden, dass die Leistungsaufnahme um die 5 kW im Zeitraum 00:00 bis 04:00 vornehmlich durch die Lüftungsanlagen in beiden Stallarten hervorgerufen wird. Der kurzzeitige Peak gegen 04:30h ist auf die Fütterungsanlagen zurückzuführen. Der Leistungsanstieg von 5 kW auf 11 – 12 kW um 07:00h wird durch den Einschaltvorgang der Beleuchtung verursacht und ist auch im weiteren Tagesverlauf für die erhöhte Leistungsaufnahme verantwortlich. Hinzu kommt eine leicht erhöhte Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen, bedingt durch steigende Tagestemperaturen bei vermehrter Aktivität der Tiere im Stall. Die kurzzeitigen Leistungsspitzen um 10h und 16:30h werden abermals durch die Fütterungsprozesse verursacht. Ab 19h wird die Beleuchtung abgeschaltet und bedingt durch sinkende Temperaturen die Lüftungsanlagen gedrosselt, wodurch die Leistung zu den Abendstunden auf die Grundlast ca. 5 kW abfällt. Bereits hier wird ersichtlich, dass im Jahr 2015 weniger Leistung abgerufen wurde.

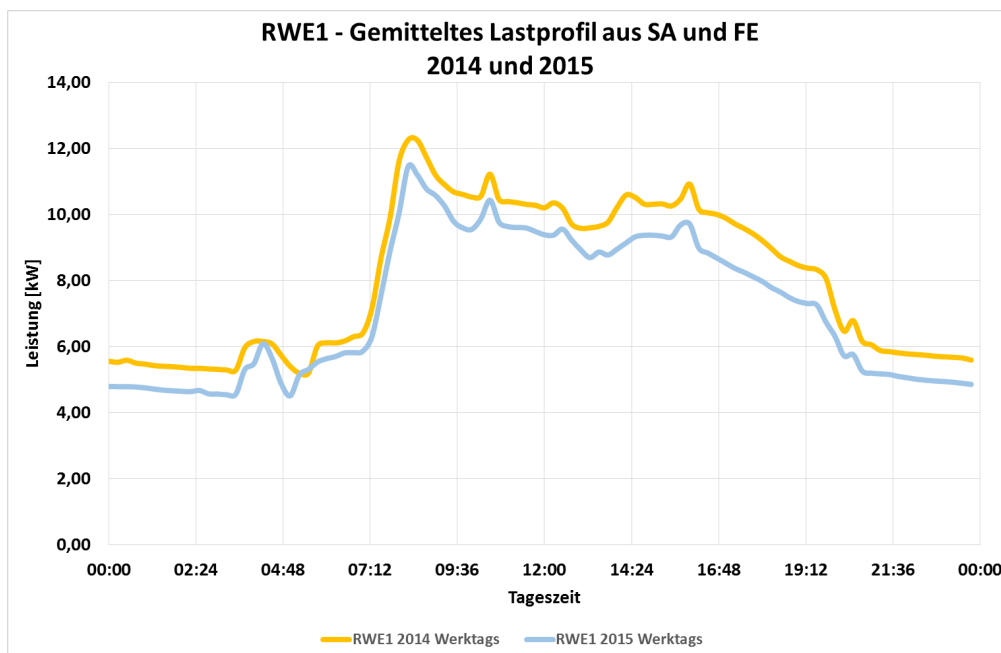


Abbildung 38: RWE1 – Gemittelttes Tageslastprofil aus Sauen- und Ferkelaufzucht 2014 und 2015

Um weitere Eindrücke vom untersuchten Betrieb RWE1 zu erhalten, sind in Abbildung 39 sowohl die gemessenen Stromverbräuche des gesamten Betriebes im Vergleich 2014 und 2015, als auch der jeweiligen Stallarten dargestellt.

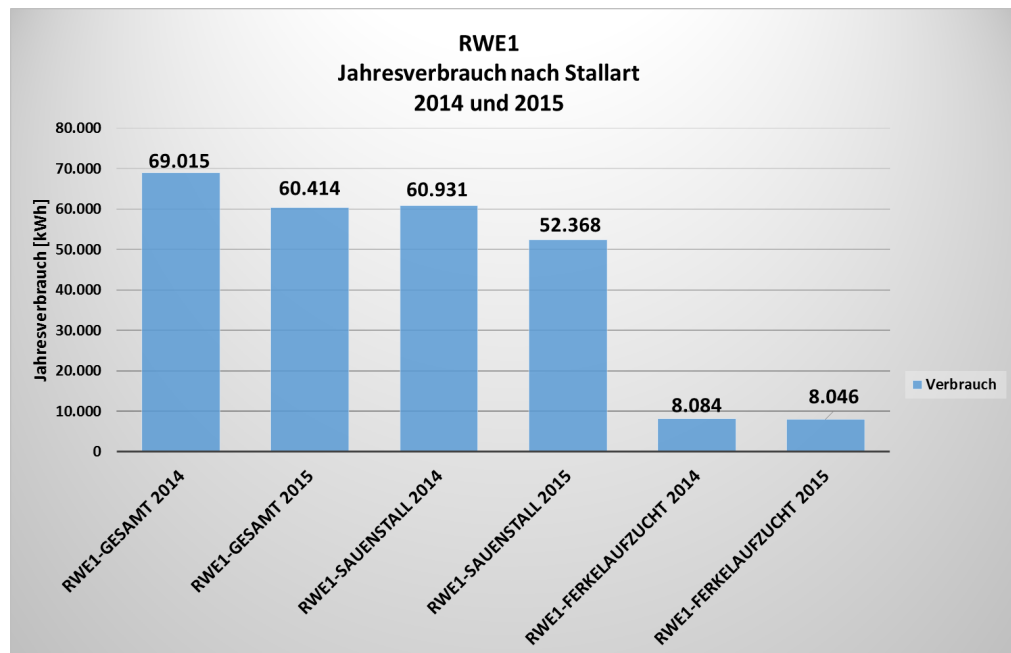


Abbildung 39: RWE1 - Jahresverbrauch nach Stallart 2014 und 2015

Wie bereits in Abbildung 38 ersichtlich, konnte beim Betrieb RWE1 ein Rückgang des elektrischen Energieverbrauchs von ca. 9.000 kWh festgestellt werden. Bei Betrachtung der Stallarten wird sichtbar, dass der angesprochene Rückgang für den Gesamten Betrieb, auf einen Rückgang des Verbrauchs im Sauenstall zurückzuführen ist. Der Ferkelaufzuchtstall hat in beiden Jahren die gleiche elektrische Energiemenge benötigt. Für den Betrieb RWE1 lässt sich bis hierhin bereits zusammenfassen, dass der Sauenstall energieintensiver ist.

Um weitere und vor allem qualitativere Aussagen über den Betrieb RWE1 treffen zu können, werden nun in Kapitel 6.5.1.1 und Kapitel 6.5.1.2 die beiden Stallarten für sich untersucht.

6.5.1.1 RWE1 - Sauenstall

Die Grundlagen über die Sauenhaltung bzw. die Ferkelerzeugung wurden in Kapitel 6.1.2 zunächst erläutert. Für die weitere Betrachtung sind die Angaben aus Tabelle 6.4 essentiell, da sie zum einen Aufschluss über die Tierzahlen und Plätze geben, zum anderen offenbaren die Angaben welche Produktionstechniken eingesetzt werden. Die Angaben sind im Rahmen der Betriebsdatenerhebung aufgenommen worden und sind weitestgehend vollständig.

Insgesamt gibt es 822 Tierplätze, die sich auf die Abteile im Deck- und Wartebereich (162 Tierplätze) und den Abferkelbereich (660 Tierplätze) aufteilen.

In Anbetracht der festgelegten Messpunkte (vgl. Tabelle 6.3) sind vor allem die Betriebsspezifischen Daten von Interesse, die im Zusammenhang mit den Messpunkten stehen.

Tabelle 6.4: RWE1 - Betriebsdaten Sauenstall

RWE 1 Sauenstall	
Anzahl Tierplätze	822
Lüftungssystem	Zentralabsaugung, Ganglüftung 2 frequenzgeregelte Regelventilatoren, 2 Schaltventilatoren
Leistung Lüftung	5,2 kW
Wärmelampen	66
Leistung Wärmelampen	6,6 kW
Leistung Fütterung (trocken)	4,4 kW
Futtermenge (fremdgemahlen)	wird noch erfasst
Beleuchtung	120 cm ~ 36 W ohne Vorschaltgerät (Anzahl wird noch erfasst)

Hervorzuheben sind demnach das Lüftungssystem, die Fütterung und die Beleuchtungstechnik inklusive der Wärmelampen im Deckzentrum. Somit lassen sich die über den Tag auftretenden Leistungsaufnahmen genauer erklären (siehe Abbildung 40 und Abbildung 42).

Im Folgenden werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 getrennt dargestellt. Des Weiteren sind nur die Tageslastprofile für die Werktage aufgetragen. An dieser Stelle wird deshalb darauf hingewiesen, dass für die Wochenenden fast identische Verläufe festgestellt wurden mit dem einzigen Unterschied einer etwas geringeren Leistungsaufnahme. Zudem wird untersucht, wie sich der anteilige Verbrauch im Sauenstall in beiden Jahren zusammensetzt.

In Abbildung 40 sind die jeweiligen Tageslastprofile der Messpunkte im Sauenstall zu sehen. Darüber befindet sich das addierte Stallspezifische Tageslastprofil. Wie schon zu Beginn des Kapitels 6.5.1 erwähnt, ist die Grundlast vornehmlich auf das Lüftungssystem (RWE1 L2-SA) zurückzuführen, da dieses den ganzen Tag über läuft, um den klimatischen Anforderungen gerecht zu werden. In Fall von RWE1 zeigt sich zudem, dass das Rotlicht im Deckzentrum (RWE1 B3-SA, vgl. Abbildung 40) ebenfalls zur Grundlast zugeordnet

werden kann, da dieser Verbraucher über den Tag konstant bei ca. 1 kW Leistung liegt. Der Leistungsanstieg, als auch die Spitzen, entstehen demnach durch die Beleuchtungstechnik (RWE1 B2-SA) und den Anlagen zur Futterversorgung (RWE1 F2-SA). Während die Beleuchtung morgens eingeschaltet und abends wieder ausgeschaltet wird, ist beim Messpunkt Fütterung ein mehrmaliges Ein- und Ausschalten der Anlagen zu erkennen.

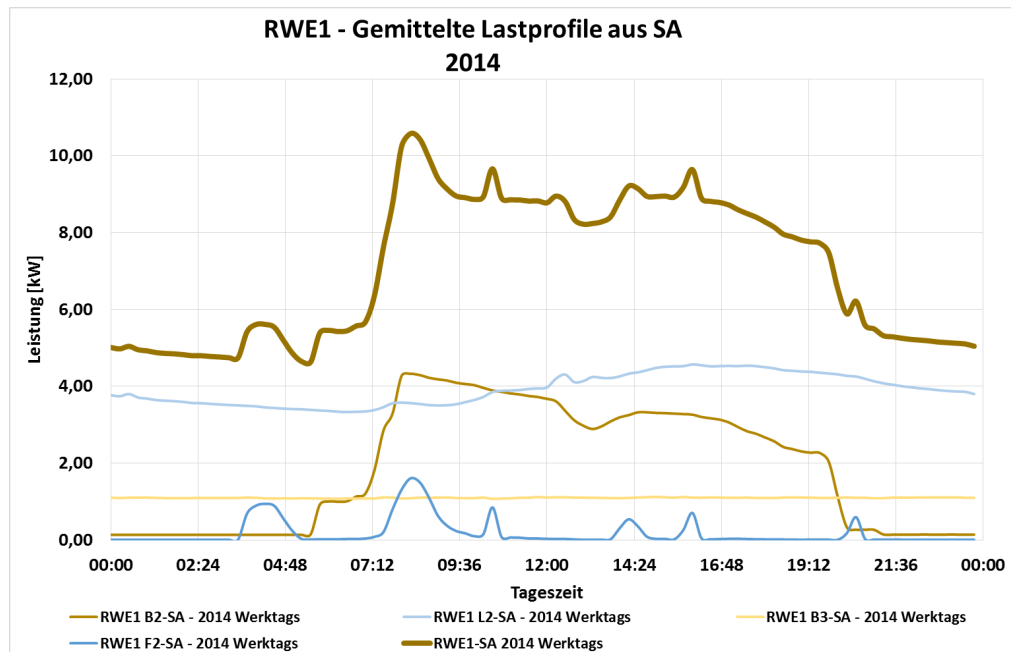


Abbildung 40: RWE1 – Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2014

Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Tiere in einem bestimmten Rhythmus mehrmals am Tag Futter vorgelegt bekommen. Abbildung 41 zeigt den anteiligen Stromverbrauch im Sauenstall.

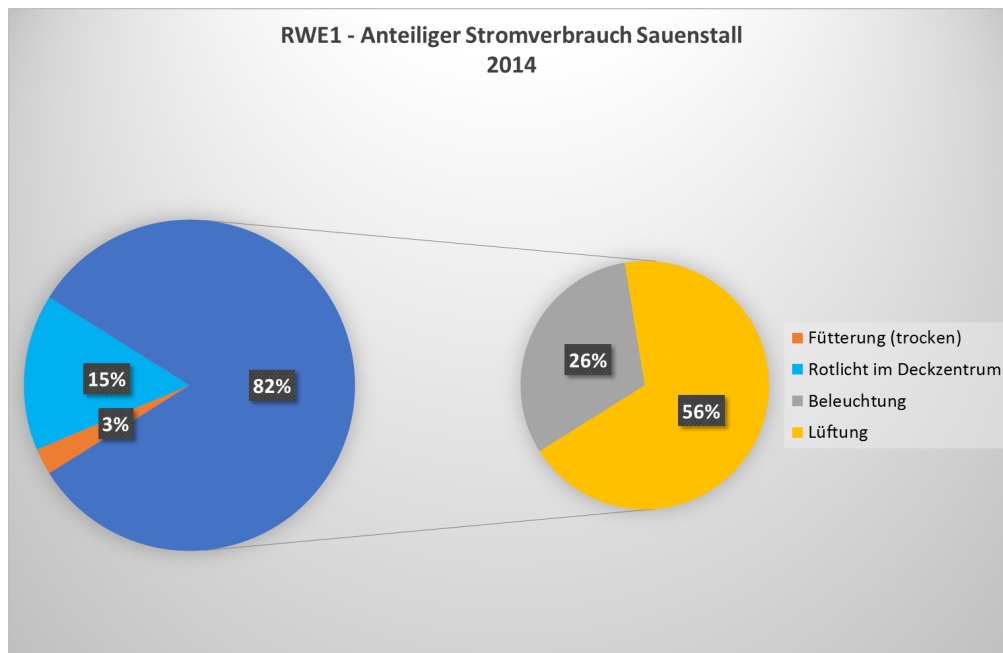


Abbildung 41: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2014

Wie zu erwarten setzt sich der Stromverbrauch zu 82% aus den Messpunkten Lüftung (56%) und Beleuchtung (26%) zusammen. Das Rotlicht im Deckzentrum hat einen Anteil von 15% und die Fütterung lediglich einen Anteil von 3% am Gesamtverbrauch von 60.931 kWh.

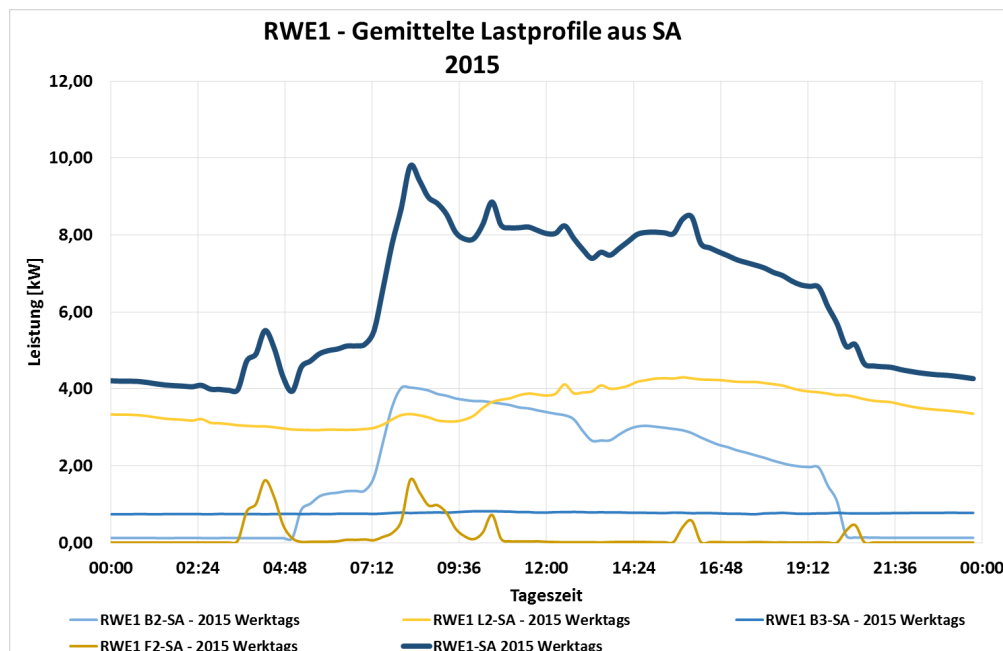


Abbildung 42: RWE1 – Gemittelte Lastprofile aus Sauenhaltung 2015

Die gemittelten Tageslastprofile für das Jahr 2015 aus Abbildung 42 zeigen auf den ersten Blick keine wesentlichen Veränderungen gegenüber 2014, die relevanten Veränderungen zum Vorjahr werden zu einem späteren Zeitpunkt

aufgegriffen. Einzig die maximale Leistungsaufnahme hat um ca. 0,6 kW abgenommen, wodurch auch der für das Jahr 2015 zu verzeichnende geringere Verbrauch deutlich wird. Die bereits beschriebenen Abläufe sind diesem Diagramm ebenfalls zu entnehmen.

Der anteilige Stromverbrauch ist erneut dadurch gekennzeichnet, dass Lüftung und Beleuchtung über 80% am Gesamtverbrauch ausmachen (siehe Abbildung 43). Ihr Anteil ist sogar um 5% gestiegen und lag für 2015 bei 87%. Der Grund ist der gesunkene Anteil des Rotlichts im Deckzentrum, der 2015 bei 10% lag. Die Fütterung hingegen ist weiterhin mit lediglich 3% am Gesamtverbrauch beteiligt. Der Gesamtverbrauch 2015 betrug 52.368 kWh. Das entspricht einem Rückgang von 14%.

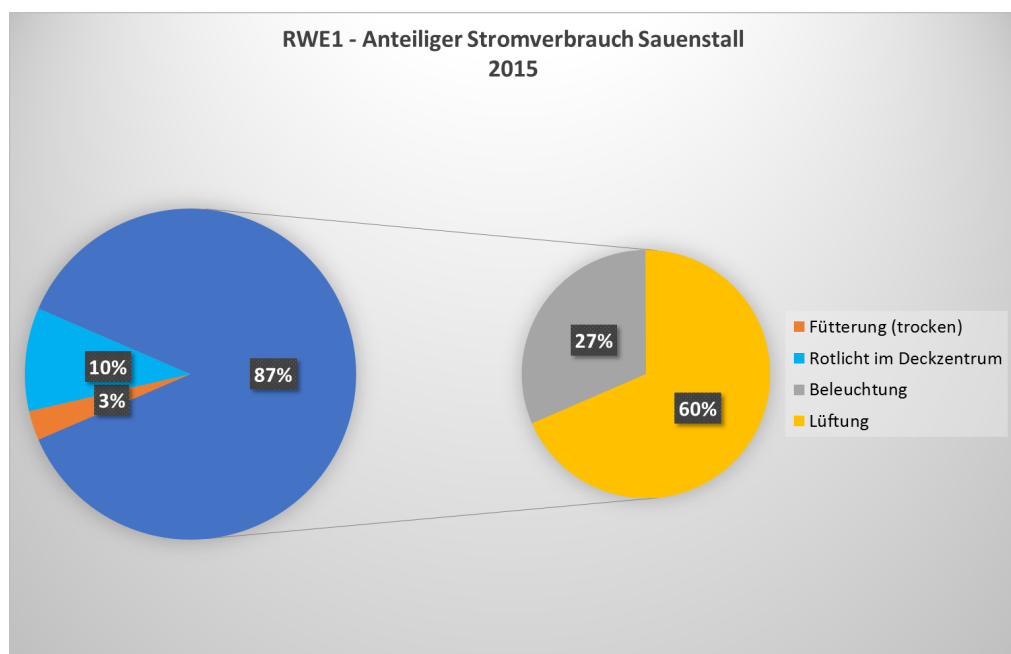


Abbildung 43: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2015

In Kapitel 6.2 wurde bereits auf das Instrument des Aufteilens der Verbräuche hingewiesen. Es konnten dadurch zwei wesentliche Messpunkte (Lüftung und Beleuchtung) identifiziert werden, die in beiden Jahren mit über 80% anteilig am elektrischen Gesamtverbrauch verantwortlich waren.

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt können nun Energiespezifische Kennzahlen berechnet werden. Dabei werden die elektrischen Verbräuche der jeweiligen Messpunkte im Sauenstall des RWE1 Betriebes (vgl. Tabelle 6.3) durch die Anzahl der vorhandenen Tierplätze geteilt, in diesem Fall 822 Sauenplätze

(vgl. Tabelle 6.4). Durch einen Vergleich mit den erhobenen Energiebedarfskennzahlen der KTBL, die aus Abbildung 31 abgeleitet wurden, können möglicherweise erste Erkenntnisse über die Effizienz der verbauten Komponenten gewonnen werden (siehe Tabelle 6.5).

Tabelle 6.5: RWE1-SA: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchs-kennzahlen

	RWE1 2014 [kWh/TP*a]	RWE1 2015 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	SA	SA	SA
Lüftung	41,8	38,0	51,2
Fütterung (Futtermittelzubereitung)	1,9	1,8	3,4 (20,5)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	19,09 (30,4)	17,4 (23,8)	30,7
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-	-	6,8
Gesamt	74,1	63,7	109,2

Im Vergleich mit den abgeleiteten Kennzahlen der KTBL ist zu sehen, dass die berechneten Kennzahlen des RWE1 Sauenstalls den erwarteten Bedarf an Energie teilweise unterschreiten. In beiden Jahren liegen die Kennzahlen je Verbraucher unter den KTBL Werten. Unter Berücksichtigung der Betriebsdaten in Tabelle 6.4 geht hervor, dass zum Beispiel bei der Luftführung des Lüftungssystems, sowohl bei der Zuluftführung (Futterganglüftung) als auch bei der Abluftführung (Oberflur-Zentralabsaugung), strömungsgünstige Varianten verbaut sind. [16] Die Kaminbauart ist in den Betriebsdaten nicht angegeben und aufgrund der berechneten Kennzahlen ist davon auszugehen, dass es sich hier um die Kaminbauart „Einströmdüse und Diffusor“ handelt. [16] Es ist jedoch hervorzuheben, dass das Lüftungssystem aus zwei Schalt- und zwei frequenzgeregelten Ventilatoren besteht. Hier würde sich demnach eine Vertiefung anbieten, da durch die Frequenztechnik Effizienzverbesserungen bei einem möglichen Austausch der Schaltventilatoren zu erwarten sind. Bei der Fütterung handelt es um ein Trockenfütterungsverfahren mit fremdgemahlenem Futter, wodurch die Futtermittelzubereitung, also vor allem das Mahlen, keinen zusätzlichen Mehrbedarf an Energie beansprucht. Das spiegelt sich in den berechneten Kennzahlen (2014 1,9 kWh/TP*a und 2015 1,8 kWh/TP*a) wieder. Aus energetischer Sicht ist mit wenigen bis keinen Verbesserungen zu rech-

nen. [16] Hier bietet es sich an zu überprüfen, ob der tägliche Fütterungsprozess in Zeiten mit hohem Solarstromertrag durchgeführt werden kann. Im Sauenstall des RWE1 Betriebes wurde sowohl das Rotlicht im Deckzentrum als auch die Stallbeleuchtung gemessen. Licht im Deckzentrum wird als produktionstechnische Maßnahme zur Steigerung der Fruchtbarkeit eingesetzt. Die sich aus beiden Messpunkten ergebene Kennzahl liegt in beiden Jahren unter den Richtwerten der KTBL. Im Jahr 2015 mit 23,8 gegenüber 30,7 kWh/TP*a sogar recht deutlich. Den Betriebsdaten ist jedoch zu entnehmen, dass konventionelle Vorschaltgeräte für die Stallbeleuchtung eingesetzt werden, demzufolge kann angenommen werden, dass die Nachrüstung eines elektronischen Vorschaltgeräts Einsparpotentiale bei der Beleuchtungstechnik ermöglicht. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 25% des Energieeinsatzes eingespart werden kann. [18] Die Reinigung und Entmistung kann nicht betrachtet werden, da für diese Verbraucher keine Zähler installiert wurden (siehe Tabelle 6.3).

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der Messpunkte beschrieben und gegebenenfalls Empfehlungen formuliert.

Lüftung

Die erforderliche Lüfrate zur Gewährleistung eines optimalen Stallklimas orientiert sich im Winter an einer ausreichenden Abfuhr von Feuchtigkeit, Schadgasen und Kohlendioxid aus dem Stall. Im Sommer richtet sich die Lüfrate nach der Abfuhr der von Tieren freigesetzten Wärme. Für die Planung von zwangsgelüfteten und wärmegeprägten Ställen sind die für den Winter und Sommer erforderlichen Mindest- und Maximalwerte für die Lüfraten in der DIN 18 910-1 „Stallklima“ festgelegt. Aufgrund der zu erwartenden Temperaturabhängigkeit empfiehlt sich die Aufteilung der Lastprofile in Perioden hier besonders (siehe Anhang B: RWE1 SA – Lüftung, vgl. Abbildung 85 und Abbildung 86). Anhand der Diagramme für 2014 und 2015 ist die jahreszeitliche Schwankung der Leistungsaufnahme deutlich zu erkennen, wobei 2015 die Herbst-, Frühlings- und Wintermonate viel näher zusammen liegen. Auffällig ist der kurzzeitige Leistungsanstieg und Abfall zwischen 12:00h und 14:00h in den Frühlings und Wintermonaten, als auch der Leistungsanstieg und Abfall zwischen 01:00h und 02:00h in der Herbstperioden. Näheres siehe Anhang B:

RWE1 SA – Lüftung, dort werden ausgewählte Messtage aus den jeweiligen Perioden in einer täglichen Auflösung dargestellt. Diese Messreihen zeigen, dass es regelmäßig zu einem nicht benötigten Leistungsanstieg in den angesprochenen Zeiträumen gekommen ist. Zur weiteren Verdeutlichung der Temperaturabhängigkeit wurden die monatlichen Verbräuche zur Außentemperatur in einem Diagramm dargestellt (siehe Anhang B: Abbildung 87 und Abbildung 88). In diesen Abbildungen ist zu sehen, dass der Energieverbrauch mit der durchschnittlichen Jahrestemperatur zunimmt. Die Durchschnittliche Jahrestemperatur war 2015 gegenüber 2014 um 8 °C kälter, vor allem die Herbstmonate als auch der Dezember weisen ein recht mildes Klima mit durchschnittlichen Monatstemperaturen von 10 °C auf. Dementsprechend steigen und sinken die Stromverbräuche einhergehend mit der Außentemperatur. Die Korrelation zur Außentemperatur wurde durch ein weiteres Diagramm, in dem jeder gemessenen Leistung ein Temperaturwert zum jeweiligen Messzeitpunkt zugewiesen wurde, weiter beleuchtet. Die eingezeichnete exponentielle Trendlinie weist 2014 ein Bestimmtheitsmaß von 0,6347 auf. Die Ausreißer im Leistungsbereich zwischen 3 und 4 kW bei einer Temperatur zwischen -5 und 0 °C deuten auf Verunreinigungen im Lüftungssystem hin, welche höhere Strömungswiderstände hervorrufen können und die Leistungsaufnahme folglich ansteigt. Die für das Jahr 2015 aufgetragene Punktwolke zeigt auf den ersten Blick keine wesentlichen Veränderungen gegenüber dem Vorjahr. Das Bestimmtheitsmaß der exponentiellen Trendlinie von 0,6548 ist um 0,0201 höher als 2014. Das liegt daran, dass die Datenpunkte etwas näher beisammen liegen und kaum relevante Ausreißer erkennbar sind (vgl. Anhang B: Abbildung 89 und Abbildung 90). Zur ersten Abschätzung der Effizienz des eingesetzten Lüftungssystems dient die Jahresdauerlinie, da sowohl die Luftraten als auch die Stallgröße nicht bekannt sind. Mit Hilfe dieser Darstellung kann der Leistungsbedarf eines Versorgungsobjekts auf Basis der jeweiligen Nutzungszeit abgelesen werden. Aus der Jahresdauerlinie wird also ersichtlich, wie viele Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung abgerufen wird. Aus den Betriebsdaten ging hervor, dass das Lüftungssystem eine installierte Gesamtleistung von 5,2 kW haben soll. Die Auswertung der Messdaten hat allerdings ergeben, dass zum Beispiel 2014 über 2000 Jahresstunden eine höhere Leistung abgerufen wurde (siehe Anhang B: Abbildung 91). Entweder wurden nicht alle

Komponenten aufgenommen oder das Lüftungssystem wurde erweitert. Leistungen über 5,2 kW sind in jedem Monat des Jahres 2014 und 2015 vorgekommen. Es kann angenommen werden, dass die tatsächliche Gesamtleistung um die 8 kW oder höher liegt. Mit der Annahme von 8 kW entspräche das einem Volllaststundenanteil von 49% (4.296h) in 2014 und 45% (3905h) in 2015 (siehe Abbildung 92). Aufgrund fehlender Angaben zur Stallfläche können mit Hilfe des KTBL Heftes 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ keine konkreteren Rückschlüsse auf die mögliche installierte Leistung getroffen werden.

Zum Abschluss fasst Tabelle 6.6 die qualitativere Auswertung des Verbrauchers Lüftung zusammen.

Tabelle 6.6: RWE1-SA Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE1 SA Lüftung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	34.367,67	56,40%	49,80%	2.864	41,81
2015	31.239,26	59,65%	51,71%	2.603	38,00

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vorab werden die ersten Erkenntnisse genannt:

- Zentrale Abluftführung durch dezentrale ersetzen, ggf. Baukosten zu hoch, jedoch 75% weniger Strombedarf. [16, 17, 18]
- Kaminbauart überprüfen, aufgrund guter Kennzahlen ist evtl. Bauart „Einstromdüse und Diffusor“ bereits vorhanden. [16]
- Überprüfung der tatsächlich installierten Leistung.
- Aus den Messreihen geht hervor, dass vermutlich die Schaltventilatoren (ca. 1 bis 1,2 kW Lastsprung) zu „grob“ regeln – Mögliche Ursache: Sensorik, Klimasteuerung. Durch Interpolation konnten Lastsprünge geglättet und im Anschluss die zusätzlich verbrauchte Energie berechnet werden. Für 2014 955 kWh und für 2015 2532 kWh, also über den Messzeitraum insgesamt 3.488 kWh, ergibt 871,91 € bei 0,25 €/kWh.

- EC-Technik ca. 35% besser als Phasenschnittregelung, jedoch nur 5% gegenüber Frequenztechnik, daher empfiehlt sich (je nach Alter der Ventilatoren) eine Nachrüstung einer Frequenzregelung. [16, 18, 19]

Beleuchtung

Im Deckstall, Aufzuchtstall, bei tragenden Sauen und Abferkelbuchten ist Licht sehr wichtig. Die Beleuchtung von Ställen ist sowohl für das Tierwohl und die Tierleistung als auch für die Sicherung der Anforderungen an die Arbeitsplätze im Stall wichtig. Die Anforderungen an die Mindestbeleuchtungsstärke und -dauer sind in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchutzV 2001) festgelegt. Wenn demnach nicht ausreichend Tageslicht vorhanden ist, muss der Stall mindestens 8 Stunden am Tag beleuchtet werden. Für den Aufenthaltsbereich der Tiere beträgt die Mindestbeleuchtungsstärke 80 lux. [16, 18]

Zu Beginn werden die saisonalen Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 betrachtet (siehe Anhang B: Abbildung 93 und Abbildung 94). Wie zu erwarten ist die durchschnittliche Leistungsaufnahme in den Herbst- und Wintermonaten höher, wobei die Leistungsspreizung zwischen diesen Perioden zu den Frühlings- und Sommerperioden lediglich bei ca. 0,2 kW liegt. Im Frühling beginnt und endet der Tag etwas später. Es ist ein signifikanter Leistungseinbruch gegen Mittag zu erkennen, möglicherweise wegen eines höheren Tageslichteinfalls. Die Stallbeleuchtung ist im Schnitt von 07:00h bis 20:00h eingeschaltet. Das entspricht einer Betriebsdauer von 13 h. Im Jahr 2015 ist die wesentliche Veränderung die gezeigte Leistungsaufnahme der Frühlingsperiode. Der erkennbare Leistungseinbruch in der Mittagszeit scheint sich über einen etwas längeren Zeitraum ausgedehnt zu haben. Es ist auffällig, dass in beiden Jahren weiterhin eine Leistungsaufnahme um die 0,1 kW gemessen wurde. Weitere visuelle Vertiefungen, in Form von ausgewählten wöchentlichen Messreihen können auch hier dem Anhang B entnommen werden. In Tabelle 6.7 sind Leistungsbereiche definiert worden, die zum einen überprüfen wie häufig ein bestimmter Leistungsbereich aufgetreten ist und zum anderen, wann die Stallbeleuchtung tatsächlich eingeschaltet war. Im Folgenden wird das Ergebnis für 2015 mit den Veränderungen gegenüber 2014 gezeigt. Die Tabelle für das Jahr 2014 befindet sich im Anhang B: RWE1 SA – Beleuchtung

Tabelle 0.1. Es können drei wesentliche Bereiche entnommen werden. Ein Schwachlast-, ein Kernlast- und ein Spitzenlastbereich. Zum einen ist irgend- ein Verbraucher in der Nacht permanent mit einer Leistung unter 1 kW eingeschaltet, zum anderen wurden in nur 1776 Jahresstunden keine Leistungsaufnahmen aufgezeichnet. Die Werte in Klammern schließen die Fehlwerte, in denen aufgrund technischer Schwierigkeiten keine Werte gemessen wurden, mit ein.

Tabelle 6.7: RWE1-SA Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbe-
reichen und Jahresstunden 2015

Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a	Veränderung Vorjahr [%]
20:30 - 05:30	7102 (7130)	0,00	1776 (1783)	-5%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0 > 0,1	Energie [kWh]	h/a	
20:15 - 05:30	379	2,85	95	23%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 0,1 < 1	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	6978	573,81	1.745	-5%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1 < 2,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	9949	3.715,25	2.487	18%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 2,5 < 4	Energie [kWh]	h/a	
05:30 - 20:00	7027	5.704,37	1.757	13%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 4 < 5	Energie [kWh]	h/a	
05:45 - 19:30	2199	2.450,65	550	-12%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 5 < 6	Energie [kWh]	h/a	
07:45 - 18:30	1116	1.506,27	279	-43%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 6 < 7	Energie [kWh]	h/a	
08:00 - 17:30	262	416,79	66	-68%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 7	Energie [kWh]	h/a	
08:30	1	1,75	0	-93%
Summe		14.328,34	8.760	-9%

Tagsüber liegt die Leistung meistens zwischen 1 und 4 kW. Spitzenlasten treten morgens mit bis zu 7 kW auf. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Beleuchtung ab einer Leistung über 1 kW eingeschaltet ist, dann betrug die tägliche Beleuchtungsdauer für das Jahr 2014 im Schnitt 14 und 2015 13 Stunden. Der Anteil des „Stand-by“ Verbrauchs unter 0,1 kW ist um 23% gestiegen, wo hingegen der Anteil der Zeiten in denen keine Leistungsaufnahme gemessen wurde um 5% gesunken ist. Der Anteil an Jahresstunden des Spitzenleistungsbereichs über 5 kW ist um 50% deutlich gesunken (2014 693h, 2015 345h).

Anhand der Betriebsdaten konnte nicht festgestellt werden, wie viele Leuchtmittel im Stall installiert sind. Es konnte jedoch entnommen werden, dass überwiegend Leuchtstoffröhren (120 cm und 36 Watt) mit einem konventionellen

Vorschaltgerät verwendet werden. Als erste Annäherung und zur Bestätigung der getätigten Messungen, konnte mit Hilfe des KTBL Heftes 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ und den darin veröffentlichten Faustzahlen die Anzahl der Leuchten pro Tierplatz berechnet werden. Für den Abferkelbereich werden 0,21 Leuchten pro Tierplatz angenommen, bei 660 TP (Stallaufteilung geht aus Betriebsdaten hervor) entspricht das 139 Leuchtstoffröhren je 36W (Insgesamt ca. 5 kW). Für den Deck- und Wartebereich werden 0,13 Leuchten pro Tierplatz angenommen, bei 162 Tierplätzen entspricht das 21 Leuchtstoffröhren je 36 W (Insgesamt ca. 1 kW). Zusammenfassend kann als erste Annäherung festgehalten werden, dass anhand der Energiefaustzahlen des KTBL Heftes 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ für den Betrieb RWE1 SA eine Gesamtleistung der Beleuchtungstechnik von ca. 6 kW ermittelt werden konnte. Die berechnete Gesamtleistung deckt sich mit den gezeigten Lastprofilen. Weitere visuelle Vertiefungen in Form von wöchentlichen Messreihen sind dem Anhang B: RWE1 SA – Beleuchtung zu entnehmen. Aus den Messreihen für 2014 und 2015 geht hervor, dass unterschiedliche Belegungen im Warte- Deck- und Abferkelbereich für die täglichen Leistungsschwankungen verantwortlich sind, da teilweise die Beleuchtung in manchen Abteilen ausgeschaltet wird. Hinzu kommen die in den Betriebsdaten angesprochenen Umbau- oder Reinigungsarbeiten. Die erstellten gemittelten Tageslastprofile finden sich in Messreihen wieder, auch das typische Leistungsloch in den Mittagsstunden. In den Morgenstunden sind immer Leistungsspitzen zu erwarten, die Grundlast liegt bei ca. 4 kW. Je nach Belegung und Jahreszeit sind Leistungen zwischen 4 und 6 kW zu erwarten, in Ausnahmefällen, vornehmlich im Zeitraum 08:00h bis 11:45h sogar über 7 kW (vgl. Tabelle 0.1). Abbildung 44 zeigt den monatlichen Stromverbrauch für die beiden betrachteten Jahre des Hauptstromverbrauchers Beleuchtung des Betriebes RWE1-SA.

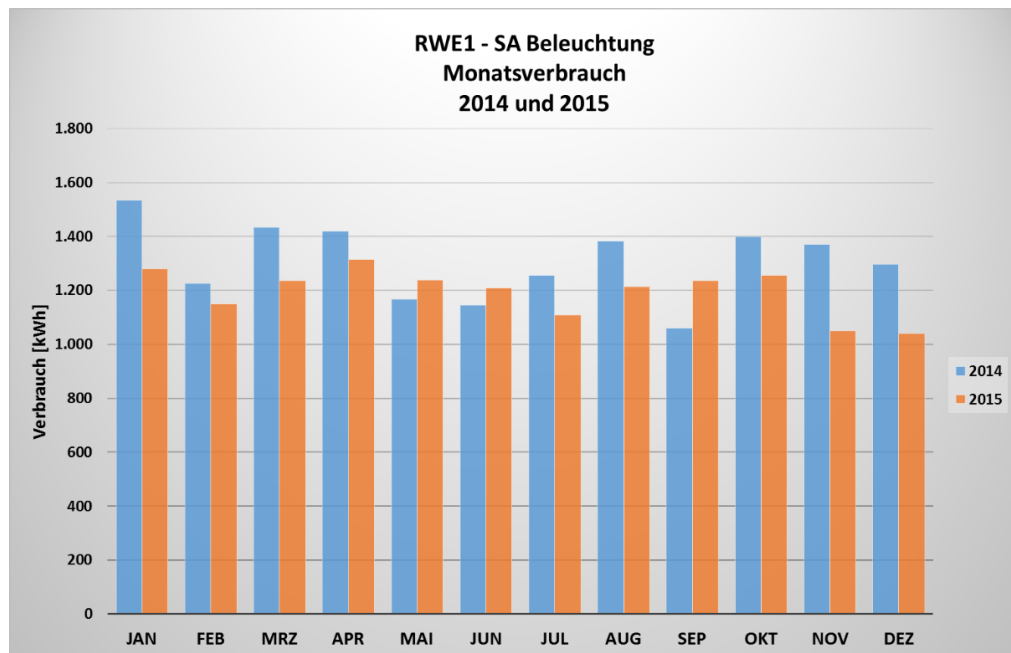


Abbildung 44: RWE1–SA Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Im Vergleich zu 2014 wurde im Jahr 2015 in 9 von 12 Monaten weniger Strom verbraucht. Der durchschnittliche Stromverbrauch lag bei ca. 1.300 und 1.200 kWh pro Monat (vgl. Tabelle 6.8)

Tabelle 6.8: RWE1-SA Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE1 SA Beleuchtung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	15.692,60	25,75%	22,74%	1.308	19,09
2015	14.328,34	27,36%	23,72%	1.194	17,43

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vorab werden die ersten Erkenntnisse genannt:

- Elektronisches Vorschaltgerät würde starke Leistungsspitzen während des Einschaltens vermeiden, weil es den Stromeingang reduziert, zusätzlich bis zu 25% Energieeinsparung, also ca. 3500 bis 3700 kWh pro Jahr, bei 0,25 €/kWh also 875 bis 925 € Ersparnis. [11, 18]
- Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,3 kW) in Höhe von 1.210 kWh
- Einsatz von LED-Leuchtmitteln überprüfen
- Reduzierung der Beleuchtungsdauer um 1h und Vermeidung von Leistungsspitzen hat den Verbrauch um 1364 kWh gesenkt

Rotlicht im Deckzentrum

Es wurde bereits erwähnt, dass Licht im Deckbereich eine produktionstechnische Maßnahme darstellt, um die Fruchtbarkeit zu steigern. Dazu soll im Kopfbereich der Sau eine Beleuchtungsstärke von ca. 300 lx erreicht werden. Die Beleuchtungsphase dauert in der Regel 10 bis 12 Stunden pro Tag. Im RWE1 Sauenstall sind insgesamt 66 Lampen je 100 Watt installiert (siehe Tabelle 6.4). Anhand von Abbildung 45 lässt sich bereits ableiten, dass das Licht im Deckzentrum bestimmten Intervallen unterliegt, da kein konstanter Verbrauch zu erkennen ist. Zudem ist der Messpunkt bzw. Zähler im Februar 2015 ausgefallen (vgl. auch Anhang A: Plausibilitätsprüfung).

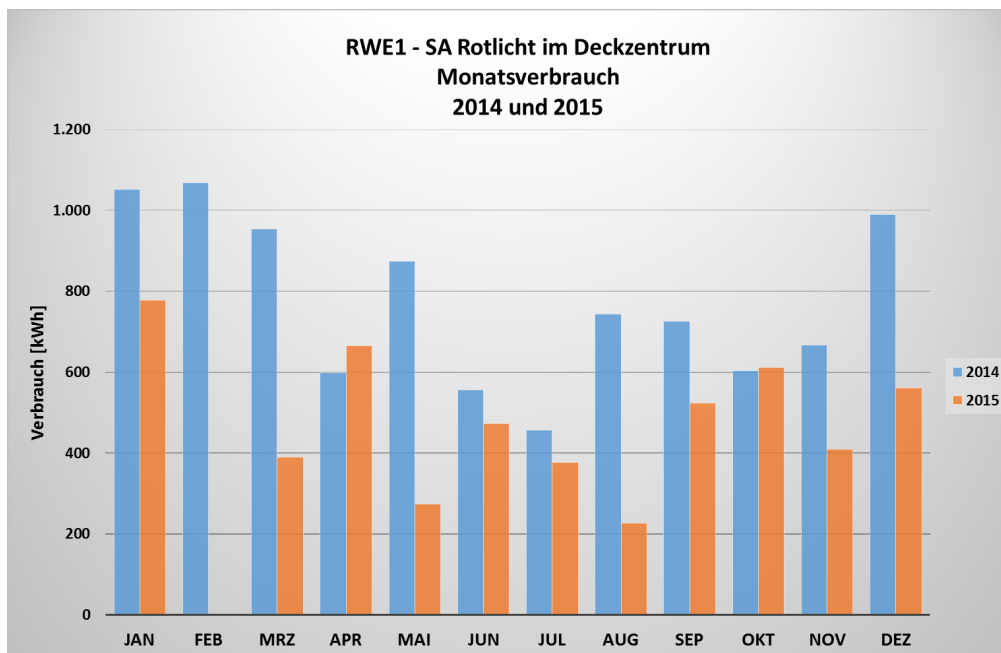


Abbildung 45: RWE1–SA Rotlicht im Deckzentrum Monatsverbrauch 2014 und 2015

Die gemittelten saisonalen Lastprofile geben im Vergleich mit ausgewählten Messtagen keinen Aufschluss über den tatsächlichen Lastgang (siehe Anhang B: RWE1 SA – Rotlicht im Deckzentrum, vgl. Abbildung 95 und Abbildung 96). Unter Berücksichtigung der Stallaufteilung wird davon ausgegangen, dass es sich um kombinierte Besamungs- und Wartestalleinheiten handelt. Eine zyklische oder periodische Nutzung dieses Verbrauchers konnte nicht abgeleitet werden. Die Lampen werden sowohl nachts als auch am Tag eingesetzt. Die maximale gemessene Leistung in beiden Jahren betrug 4,1 kW. Im Vergleich zu 2014 wurde im Jahr 2015 in 9 von 12 Monaten weniger Strom verbraucht,

wobei darauf hingewiesen wurde, dass es im Februar einen Ausfall des Zählers gegeben hat. Dementsprechend sieht es auf den ersten Blick nach einem starken Rückgang des Stromverbrauchs aus (siehe Tabelle 6.9).

Tabelle 6.9: RWE1-SA Rotlicht: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE1 SA Rotlicht [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	9.292,61	15,25%	13,46%	774	11,30
2015	5.284,61	10,09%	8,75%	440	6,43

Die Tierplatz-bezogene Kennzahl wird aufgrund keiner Vergleichsmöglichkeiten in Kapitel 6.6 nicht mehr aufgegriffen. Im Folgenden werden die ersten Erkenntnisse der Auswertung dieses Messpunktes genannt:

- Je nach Anwendungsfall die Beleuchtungsphase in den Nachtstromtarif oder in die Phase der höchsten Solarstromnutzung legen (Annahme: 09:00h bis 17:00h [21]) verlagern
- Eingesetzte Leuchtmittel ggf. durch energieeffizientere Leuchtmittel mit gleicher Beleuchtungsstärke austauschen

Fütterung (trocken)

Die Grundlagen der Fütterung wurden in Kapitel 6.1.2 und über die Trockenfütterung im speziellen in Kapitel 6.1.3 beschrieben. Die Untersuchung des Verbrauchers Fütterung hat ergeben, dass es keine wesentlichen Unterschiede zwischen Werktagen und Wochenenden gibt. Auch saisonal gibt es keine Abhängigkeiten, beispielsweise zur Außentemperatur (siehe Anhang B: RWE1 SA - Fütterung, vgl. Abbildung 97 und Abbildung 98). Das Fütterungssystem wird zu festgelegten Zeiten eingeschaltet. Aufgrund der ausreichenden Aussagekraft der gemittelten saisonalen Tageslastprofile wird auf ausgewählte Messreihen im Anhang verzichtet. Im Lastprofil für 2014 sind insgesamt sechs und für 2015 fünf signifikante Peaks zu sehen. Die Leistungsbereiche unterscheiden sich zwischen den beiden Jahren relativ gering. Die Zeiträume sind jedoch gleich. Der erste Peak im Zeitraum 03:45h bis 05:00h, in einem Leistungsbereich zwischen 0,7 und 1,7 kW. Der zweite Peak im Zeitraum 07:15h bis 09:45h, der Leistungsbereich liegt zwischen 1,6 und 1,8 kW. Der dritte Peak befindet sich im Zeitraum 10:15h bis 10:45h und im Leistungsbereich zwischen 0,7 und 0,9 kW. Im Jahr 2014 gab es zudem, im Zeitraum

14:00h bis 15:00h, einen weiteren Peak um die 0,1 bis 0,7 kW. Der Peak am Nachmittag zwischen 0,6 und 0,7 kW ist in beiden Jahren vorhanden (15:30h bis 16:15h). Letzter Peak beginnt um 20:15h bis 20:45h und hat eine Leistung um die 0,6 kW. Die maximalen gemessenen Leistungen liegen oberhalb von 3 und unter 3,5 kW. Die installierte Gesamtleistung der Fütterungsanlagen beträgt 4,4 kW. Aufgrund der Tatsache, dass die Futtermengen nicht bekannt sind, kann nicht auf den Energieeinsatz pro t Futter geschlossen werden. Dies wiederum würde eine erste Einschätzung über das eingesetzte Fördersystem (Spiral- oder Seilförderung) ermöglichen. Der Stromverbrauch ist in beiden Jahren annähernd konstant geblieben (siehe Abbildung 46). Die aufgetretenen Schwankungen sind auf die Stallbelegung, sowie das Alter und Gewicht der Tiere zurückzuführen, da sich die zu fördernde Futtermenge nach diesen Kriterien richtet. Pro Tag werden ca. 4 kWh Strom benötigt.

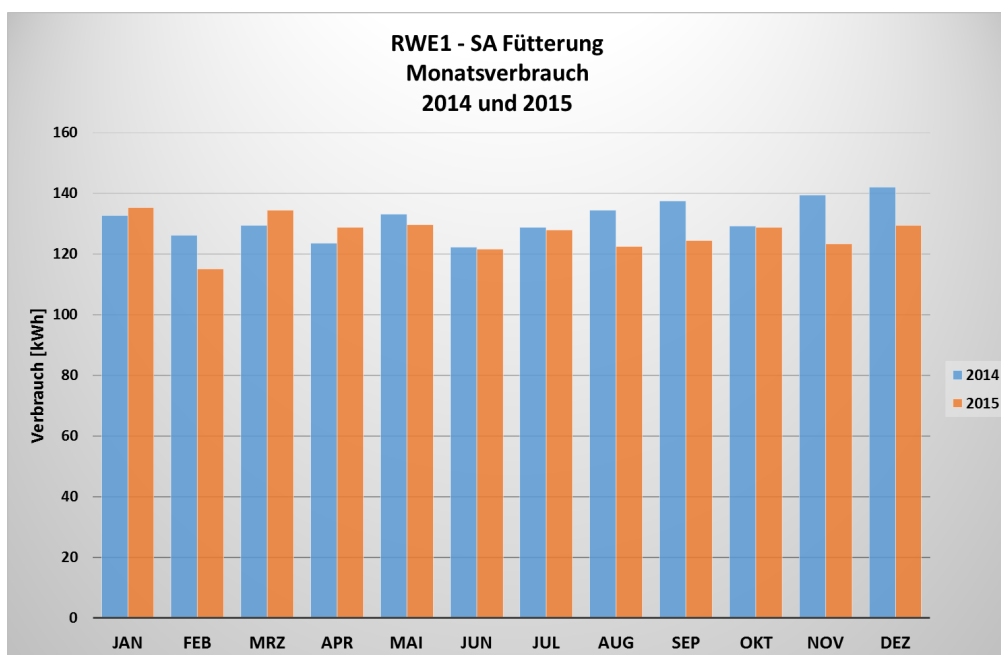


Abbildung 46: RWE1–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Der Stromverbrauch ist 2015 um 4% gesunken und der durchschnittliche Stromverbrauch betrug 120 bis 130 kWh.

Tabelle 6.10: RWE1–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Jahr	RWE1 SA Fütterung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	1.577,88	2,59%	2,29%	131	1,92
2015	1.516,17	2,90%	2,51%	126	1,84

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vor allem der Vergleich mit dem Flüssigfütterungssystem wird deutlich machen, dass die Trockenfütterung aus energetischer Sicht im Vorteil ist. Vorab werden die ersten Erkenntnisse und Empfehlungen genannt:

- Prüfen ob Peak1 (03:45h bis 05:00h) die Futtermittelvorbereitung (Entnahme des Trockenfutters aus dem Lagerbehälter und anschließende Aufbereitung einer Trockenfuttermischung in Mischbehälter) beinhaltet, wenn ja, prüfen ob durch zusätzliche Lagermöglichkeiten die Futtermittelvorbereitung für den gesamten Tag in die Sonnenzeit verschoben werden kann. Ermitteltes Lastverschiebepotential von ca. 400 kWh pro Jahr (Annahme: Optimaler Zeitraum für Solarstromausnutzung 09:00h bis 17:00h [21])
- Peak 3 bis 5 bzw. 6 beinhalten höchstwahrscheinlich die Futterentnahme und Futterverteilung, von 2014 auf 2015 gab es eine Umstellung des Futterrhythmus, Peak 5 bzw. 6 ggf. Reinigung der Anlage
- Stand-by-Verbrauch in Höhe von 99 kWh (2014 45 kWh, 2015 54 kWh)

6.5.1.2 RWE1 - Ferkelaufzuchtstall

Die Grundlagen über die Ferkelaufzucht wurden in Kapitel 6.1.2 zunächst erläutert. Für die weitere Betrachtung sind die Angaben aus Tabelle 6.11 zu beachten, da sie zum einen Aufschluss über die Tierzahlen und Plätze geben, zum anderen offenbaren die Angaben welche Produktionstechniken eingesetzt werden. Die Angaben sind im Rahmen der Betriebsdatenerhebung aufgenommen worden und sind weitestgehend vollständig.

Tabelle 6.11: RWE1 - Betriebsdaten Ferkelaufzucht

RWE 1 Ferkelaufzucht	
Anzahl Tierplätze	1600
Lüftungssystem	Zentralabsaugung, Ganglüftung 1 frequenz geregelter Regelventilator
Leistung Lüftung	1,9 kW
Leistung Fütterung (trocken)	2,2 kW
Futtermenge (fremdgemahlen)	wird noch erfasst
Beleuchtung	120 cm ~ 36 W ohne Vorschaltgerät (Anzahl wird noch erfasst)

Insgesamt gibt es 1600 Ferkelplätze, die sich auf zwei Abteile je 800 Plätzen aufteilen. In Anbetracht der festgelegten Messpunkte (vgl. Tabelle 6.3) sind vor allem die Betriebsspezifischen Daten von Interesse, die im Zusammenhang mit den Messpunkten stehen.

Hervorzuheben sind demnach das Lüftungssystem, die Fütterung und die Beleuchtungstechnik. Aus den Betriebsdaten geht zudem hervor, dass der Messpunkt „Sonstiges“ nicht bzw. sporadisch genutzt wurde. Somit lassen sich die über den Tag auftretenden Leistungsaufnahmen genauer erklären (vgl. Abbildung 47 und Abbildung 49). Im Folgenden werden, wie bereits bei RWE1-SA, aus Gründen der Übersichtlichkeit die Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 getrennt dargestellt. Des Weiteren sind nur die Tageslastprofile für die Werktage aufgetragen. An dieser Stelle wird deshalb darauf hingewiesen, dass für die Wochenenden ziemlich identische Verläufe festgestellt wurden mit dem einzigen Unterschied einer etwas geringeren Leistungsaufnahme. Zudem wird untersucht, wie sich der anteilige Verbrauch im Ferkelaufzuchtstall in beiden Jahren zusammensetzt.

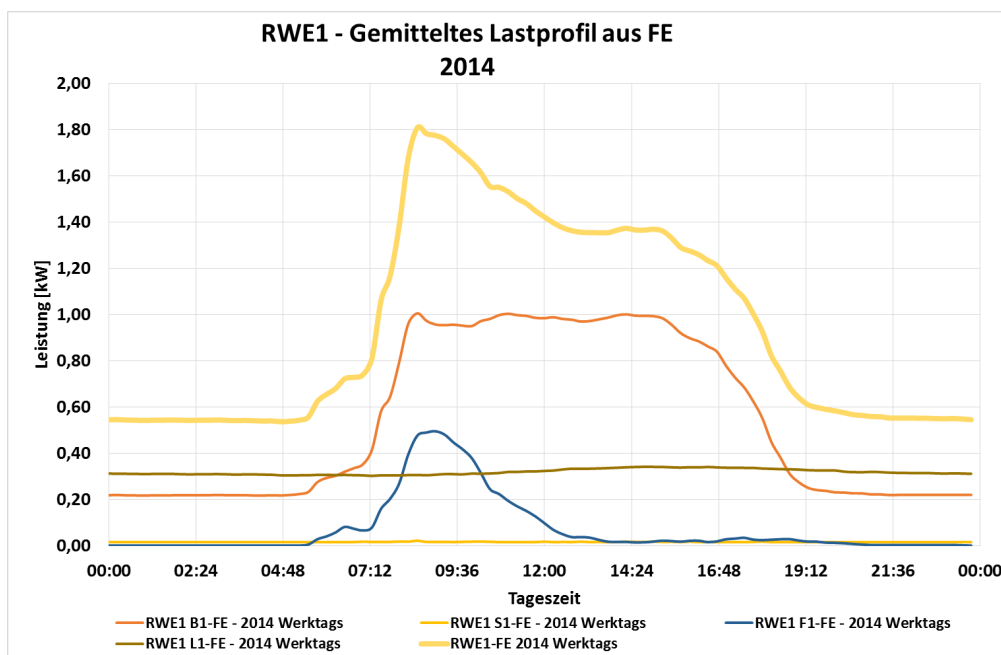


Abbildung 47: RWE1 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2014

In Abbildung 47 sind die jeweiligen Tageslastprofile der Messpunkte im Ferkelaufzuchtstall zu sehen. Darüber befindet sich das addierte Stallspezifische Tageslastprofil. Wie schon zu Beginn des Kapitels 6.5.1 erwähnt, ist die

Grundlast vornehmlich auf das Lüftungssystem (RWE1 L1-FE) zurückzuführen, da dieses den ganzen Tag über läuft, um den klimatischen Anforderungen gerecht zu werden. In Fall von RWE1-FE zeigt sich zudem, dass der Messpunkt Sonstiges (RWE1 S1-FE, vgl. Abbildung 47) nicht genutzt wird, da die gemittelte Leistung bei annähernd 0 kW liegt. Der Leistungsanstieg, als auch die Spitzen, entstehen demnach durch die Beleuchtungstechnik (RWE1 B1-FE) und den Anlagen zur Futterversorgung (RWE1 F1-FE). Sowohl die Beleuchtung als auch die Fütterung werden nur einmalig ein- und ausgeschaltet.

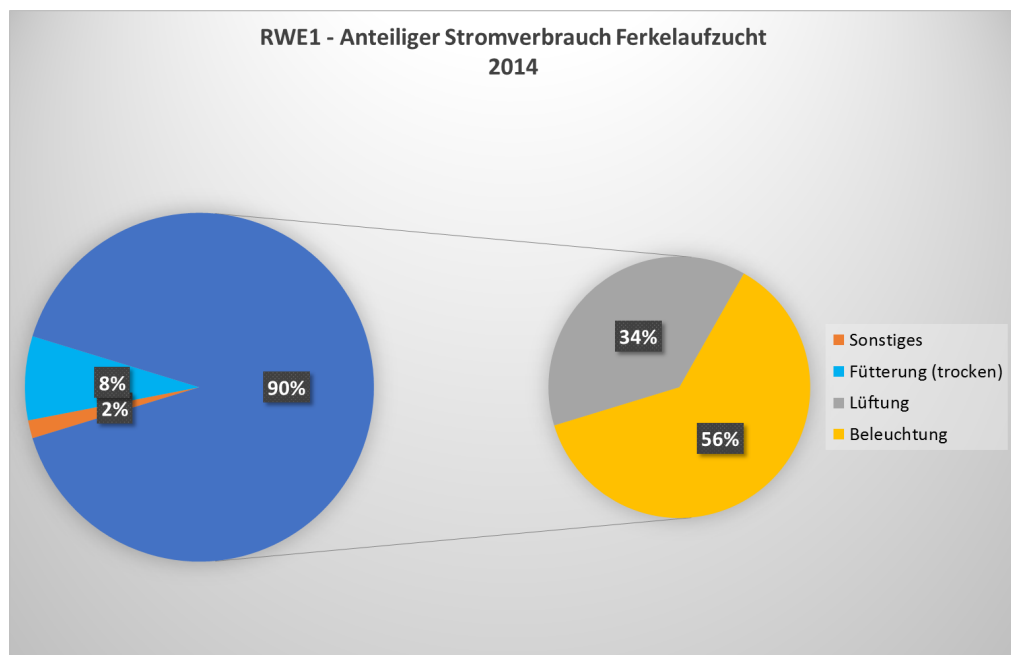


Abbildung 48: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2014

Abbildung 48 zeigt den anteiligen Stromverbrauch im Ferkelaufzuchtstall für 2014. Wie zu erwarten setzt sich der Stromverbrauch zu 90% aus den Messpunkten Lüftung (56%) und Beleuchtung (34%) zusammen. Die Fütterung hat einen Anteil von 8% und Sonstiges lediglich einen Anteil von 2% am Gesamtverbrauch (8.084 kWh) gehabt.

Die gemittelten Tageslastprofile für das Jahr 2015 aus Abbildung 49 zeigen auf den ersten Blick keine wesentlichen Veränderungen gegenüber 2014, die relevanten Veränderungen zum Vorjahr werden zu einem späteren Zeitpunkt aufgegriffen. Die bereits beschriebenen Abläufe sind diesem Diagramm ebenfalls zu entnehmen.

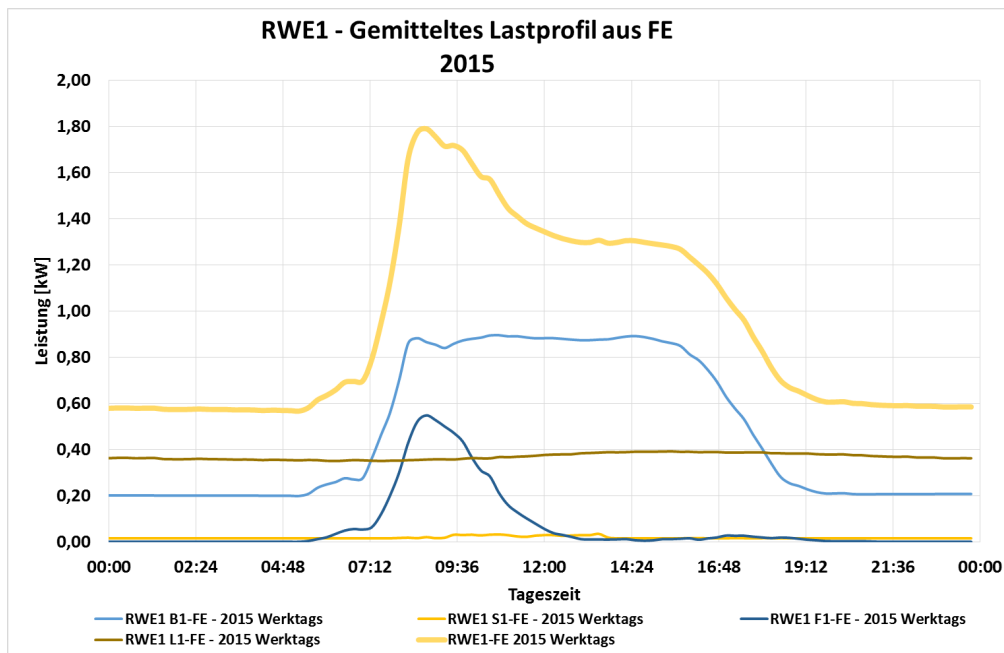


Abbildung 49: RWE1 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2015

Der anteilige Stromverbrauch ist erneut dadurch gekennzeichnet, dass Lüftung und Beleuchtung über 90% am Gesamtverbrauch ausmachen (siehe Abbildung 50). Wobei der Anteil der Beleuchtung um 6% zugenommen und der Lüftung um 5% abgenommen hat. Der Gesamtverbrauch 2015 betrug 8.046 kWh. Das entspricht einem Rückgang von unter 1%, also lässt sich festhalten, dass der Verbrauch nahezu gleich geblieben ist.

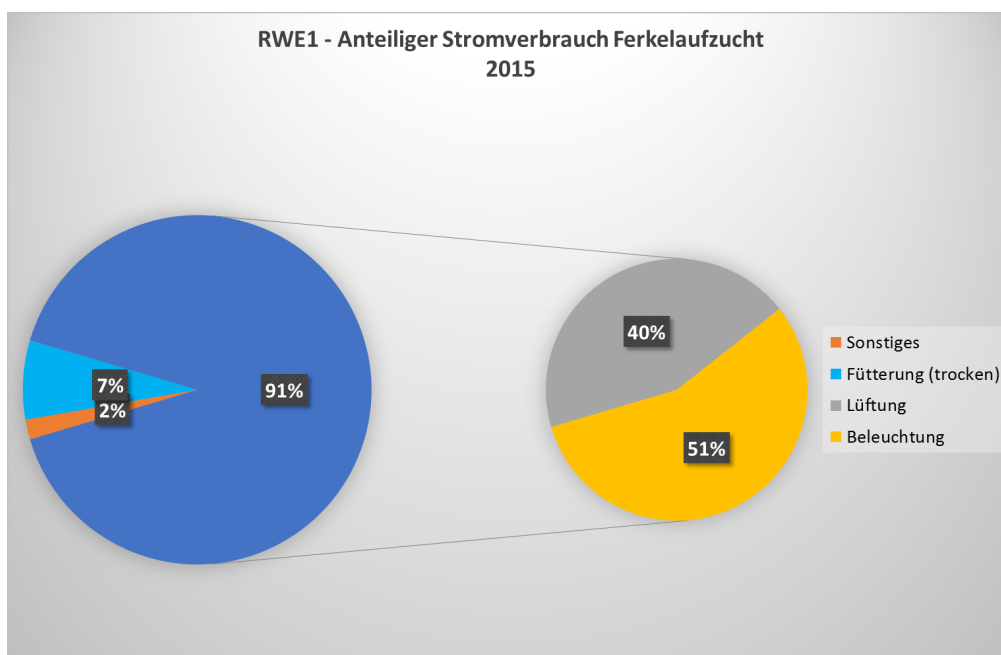


Abbildung 50: RWE1 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2015

Es konnten zwei wesentliche Messpunkte (Lüftung und Beleuchtung) identifiziert werden, die in beiden Jahren mit über 90% anteilig am Gesamtverbrauch verantwortlich waren.

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt können nun energiespezifische Kennzahlen berechnet werden. Dabei werden die elektrischen Verbräuche der jeweiligen Messpunkte im Ferkelaufzuchtstall des RWE1 Betriebes (vgl. Tabelle 6.3) durch die Anzahl der vorhandenen Tierplätze geteilt, in diesem Fall 1.600 Tierplätze (vgl. Tabelle 6.11). Durch einen Vergleich mit den erhobenen Energiebedarfskennzahlen der KTBL, die aus Abbildung 32 abgeleitet wurden, können möglicherweise erste Erkenntnisse über die Effizienz der verbauten Komponenten gewonnen werden (siehe Tabelle 6.12)

Tabelle 6.12: RWE1-FE: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskenzahlen

	RWE1 2014 [kWh/TP*a]	RWE1 2015 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	FE	FE	FE
Lüftung	1,7	2,0	9,0
Fütterung (Futtermittelzubereitung)	0,4	0,4	0,3 (3,4)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	2,8	2,6	3,4
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	0,1	0,1	5,6
Gesamt	5,1	5,0	21,4

Im Vergleich mit den abgeleiteten Kennzahlen der KTBL ist zu sehen, dass die berechneten Kennzahlen des RWE1 Ferkelaufzuchtstalls den erwarteten Bedarf an Energie teilweise sehr stark unterbieten. In beiden Jahren liegen die Kennzahlen der Lüftung unter den abgeleiteten KTBL Werten. Unter Berücksichtigung der Betriebsdaten in Tabelle 6.11 geht hervor, dass zum Beispiel bei der Luftführung des Lüftungssystems, sowohl bei der Zuluftführung (Futtermittelgallung) als auch bei der Abluftführung (Oberflur-Zentralabsaugung), strömungsgünstige Varianten verbaut sind. [16] Die Kaminbauart ist in den Betriebsdaten nicht angegeben und aufgrund der berechneten Kennzahlen ist davon auszugehen, dass es sich hier um die Kaminbauart „Einströmdüse und Diffusor“ handelt. [16] Des Weiteren ist hervorzuheben, dass bereits ein frequenz geregelter Ventilator mit einer Leistung von 1,9 kW eingesetzt wird, demnach sind zunächst keine Effizienzverbesserungen zu erwarten. Bei der

Fütterung handelt es sich auch um ein Trockenfütterungsverfahren mit fremdgemahlenen Futter, wodurch die Futteraufbereitung, also vor allem das Mahlen, keinen zusätzlichen Mehrbedarf an Energie beansprucht. Das spiegelt sich in den berechneten Kennzahlen (2014 und 2015 0,4 kWh/TP*a) wieder. Aus energetischer Sicht ist mit wenigen bis keinen Verbesserungen zu rechnen. [16] Hier bietet es sich an zu überprüfen, ob der tägliche Fütterungsprozess in Zeiten mit hohem Solarstromertrag durchgeführt werden kann. Den Betriebsdaten ist zu entnehmen, dass wie schon beim RWE1 Sauenstall konventionelle Vorschaltgeräte eingesetzt werden, demzufolge kann angenommen werden, dass die Nachrüstung eines elektronischen Vorschaltgeräts Einsparpotentiale ermöglicht. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 25% des Energieeinsatzes eingespart werden kann. [18] Der Messpunkt „Sonstiges“ wurde, wie bereits angesprochen, nur sporadisch genutzt und wird daher nicht näher betrachtet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der Messpunkte beschrieben und gegebenenfalls Empfehlungen formuliert.

Lüftung

Welche Rolle Lüftungssysteme in Schweineställen beigemessen wird, wurde bereits in den Kapiteln 6.1.2 und 6.5.1.1 erwähnt. Es sind leichte Schwankungen zwischen den Jahreszeiten zu erkennen, wobei der Herbst die höchste durchschnittliche Leistungsaufnahme aufweist (vgl. Anhang B: RWE1 FE – Lüftung, Abbildung 99 und Abbildung 100). Abbildung 100 ist zu entnehmen, dass die Sommerperiode näher an der Herbstperiode liegt als 2014. Die minimalen und maximalen Leistungsaufnahmen sind in allen Perioden etwas höher. Das Lüftungssystem arbeitete in einem Leistungsbereich zwischen 0,2 und 1,2 kW. Ausgewählte tägliche Messreihen aus den jeweiligen Perioden befinden sich im Anhang B: RWE1 FE – Lüftung. Diese unterstreichen die Aussagekraft der erstellten Lastprofile. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass der Energieverbrauch mit der durchschnittlichen Jahrestemperatur nicht zunimmt (vgl. Anhang B: RWE1 FE – Lüftung, Abbildung 101 und Abbildung 102). Im Juli 2014 ist die Außentemperatur beispielsweise am höchsten gewesen, der Verbrauch jedoch nicht. Ansonsten fällt für 2014 auf, dass vor allem im September, als auch in den Monaten Oktober, November, Dezember

und Januar ein, entgegen den Erwartungen, hoher Stromverbrauch gemessen wurde. Aus den Betriebsdaten geht nicht hervor, ob es zu Störungen im Betriebsablauf, zum Beispiel durch Umbauarbeiten oder durch defekte Ventilatoren gekommen ist. Wie bereits im Vorjahr ist für 2015 kein Anstieg des Verbrauchs einhergehend mit einem Anstieg der Außentemperatur zu erkennen. Der monatliche Verbrauch lag immer über 200 kWh. In den Monaten August bis Dezember sogar über 250 kWh. Mögliche Gründe für den annähernd konstanten Stromverbrauch könnten durch einen guten Wärmehaushalt des Stalls (Bauform, Dämmung, Tierbesatz) bedingt sein [20], da es zwischen den gemittelten saisonalen Lastprofilen kaum Unterschiede zwischen den Leistungsaufnahmen gibt. Des Weiteren kann angeführt werden, dass das Regelverhalten abhängig von Alter und Gewicht der Tiere ist, ein 8 kg Ferkel hat beispielsweise eine Wärmeabgabe von 21 W, ein 30 kg Ferkel hingegen 75 W. Im Rahmen der Aufzucht wird demnach mit zunehmenden Alter und Gewicht eher Wärme ab- als zugeführt [10, 20]. Aus den erstellten Jahresdauerlinien kann entnommen werden, dass in beiden Jahren in 50% der Jahresstunden die Lüftung mit 14% der maximalen Leistung von 1,9 kW läuft (siehe Abbildung 105 und Abbildung 106). Zum Abschluss fasst Tabelle 6.13 die qualitative Auswertung des Verbrauchers Lüftung zusammen.

Tabelle 6.13: RWE1-FE Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE1 FE Lüftung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	2.777,05	34,35%	4,02%	231	1,74
2015	3.214,39	39,95%	5,32%	268	2,01

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vorab werden die ersten Erkenntnisse genannt:

- Zentrale Abluftführung durch dezentrale ersetzen, ggf. Baukosten zu hoch jedoch 75% weniger Strombedarf. [16, 18, 19]
- Kaminbauart überprüfen, aufgrund guter Kennzahlen ist evtl. Bauart „Einstromdüse und Diffusor“ bereits vorhanden. [16]
- Durchschnittliche Jahrestemperatur 2015 gegenüber 2014 um 8 °C kälter, Verbrauch um 14% angestiegen.
- Keine Anomalien festgestellt.

Beleuchtung

Dass die Stallbeleuchtung ein sehr wichtiger Produktionsfaktor ist, wurde bereits in Kapitel 6.5.1.1 herausgestellt. Aus den gemittelten saisonalen Tageslastprofilen geht hervor, dass zwischen der Herbstperiode gegenüber der Frühlingsperiode eine durchschnittliche Leistungsspreizung von ca. 0,2 kW in der Kernzeit aufgetreten ist. 2015 zeichnet sich die Sommerperiode durch ein „sanfteres“ Einschalten der Leuchtmittel aus (siehe Anhang B: RWE1 FE – Beleuchtung, vgl. Abbildung 107 und Abbildung 108).

In Tabelle 6.14 sind Leistungsbereiche definiert worden, die zum einen überprüfen wie häufig ein bestimmter Leistungsbereich aufgetreten ist und zum anderen, wann die Stallbeleuchtung tatsächlich eingeschaltet war. Im Folgenden wird das Ergebnis für 2015 mit den Veränderungen gegenüber 2014 gezeigt. Die Tabelle für das Jahr 2014 befindet sich im Anhang B: RWE1 FE – Beleuchtung, Tabelle 0.2. Im Jahr 2015 wurden in nur 3,5 Jahresstunden (11,25 Jahresstunden mit Fehlwerten) keine Leistungen gemessen.

Tabelle 6.14: RWE1-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015

Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a	Veränderung Vorjahr [%]
12:30 - 17:45	14 (45)	0,00	3,5 (11,25)	-90%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0 > 0,1	Energie [kWh]	h/a	
-	0	0	0	-100%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,1 > 0,3	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	19582	861,12	4.896	10%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 0,3 < 1	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	12604	2.409,58	3.151	7%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1 < 1,5	Energie [kWh]	h/a	
05:45 - 20:15	2434	708,98	609	-41%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1,5 < 2	Energie [kWh]	h/a	
05:30 - 16:30	280	114,05	70	-63%
Summe		4.094	8.760	-10%

In 4.896 Jahresstunden wurde eine Leistung zwischen 0,1 und 0,3 kW gemessen. Es ist davon auszugehen, dass in diesen Zeiten die Beleuchtung ausgeschaltet, jedoch irgendwelche Stand-by-Geräte weiterhin Strom bezogen haben. Gemessene Leistungen über 0,3 kW deuten wie bereits im Vorjahr darauf hin, dass die Beleuchtung eingeschaltet ist. Allerdings wurden in weniger Jah-

resstunden Leistungen über 1 kW gemessen. 2014 wurden vereinzelt Spitzenleistungen zwischen 1,5 und 2 kW gemessen. Im Folgejahr sind Leistungen über 1 kW um 55% zurückgegangen. Der Stromverbrauch ist dadurch um 10% gesunken. Die Beleuchtungsdauer betrug 2014 im Schnitt 11 (insgesamt 4.182 Jahresstunden) und 2015 10 Stunden (insgesamt 3.830 Jahresstunden) pro Tag.

Anhand der Betriebsdaten konnte nicht festgestellt werden, wie viele Leuchtmittel im Stall installiert sind. Es konnte jedoch entnommen werden, dass auch im Ferkelaufzuchtstall überwiegend Leuchtstoffröhren (120 cm und 36 Watt) mit einem konventionellen Vorschaltgerät verwendet werden. Als erste Annäherung und zur Bestätigung der getätigten Messungen, konnte mit Hilfe des KTBL Heftes 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ und den darin veröffentlichten Faustzahlen, die Anzahl der Leuchten pro Tierplatz berechnet werden. Für die Ferkelaufzucht werden 0,02 Leuchten pro Tierplatz angenommen, bei 1.600 TP entspricht das 32 Leuchtstoffröhren je 36 W und einer Gesamtleistung von 1,15 kW. Zusammenfassend kann als erste Annäherung festgehalten werden, dass anhand der Energiefaustzahlen des KTBL Heftes 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ für den Betrieb RWE1 FE eine Gesamtleistung der Beleuchtungstechnik von 1,15 kW ermittelt werden konnte. Die berechnete Gesamtleistung deckt sich also mit den gezeigten Lastprofilen. Die erstellten Jahres- und Saisonprofile des Messpunktes Beleuchtung spiegeln sich in den ausgewählten Messreihen für die Jahre 2014 und 2015 wieder (siehe Anhang B: RWE1 FE – Beleuchtung). Der morgendliche Peak beim Einschalten ist bis auf wenige Ausnahmen stets vorhanden. Dementsprechend sind morgens immer Leistungsspitzen, teilweise bis zu 1,8 kW, zu erwarten. Die tägliche Grundlast liegt je nach Stallbelegung und Jahreszeit zwischen 1 bis 1,2 kW.

Abbildung 51 zeigt den monatlichen Strombezug in den Jahren 2014 und 2015.

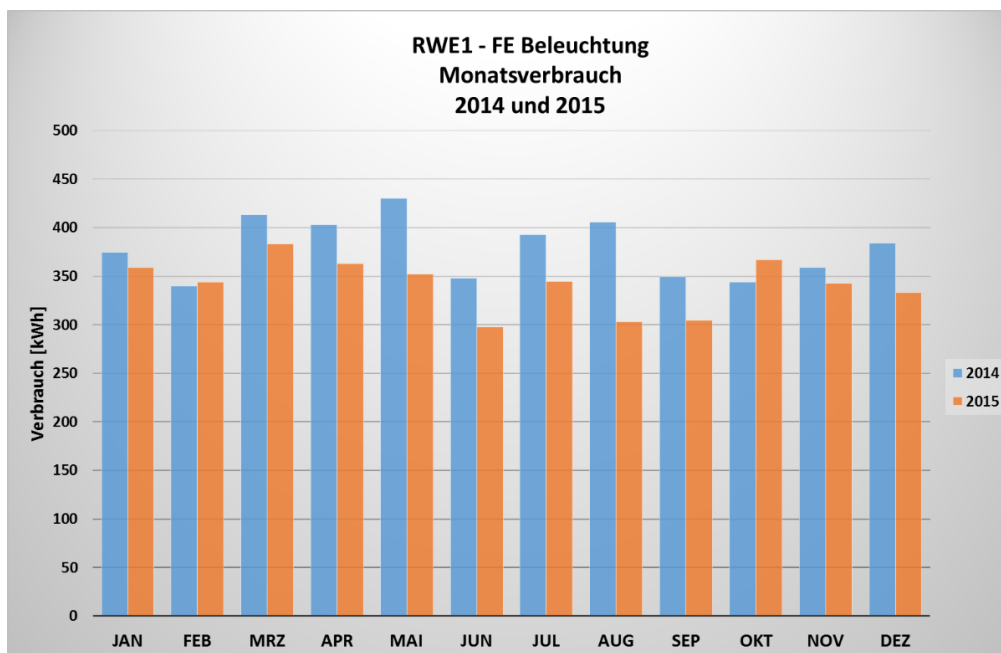


Abbildung 51: RWE1–FE Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Der monatliche Stromverbrauch war 2015 in 10 von 12 Monaten rückläufig. Demnach wurde im Jahr 2015 10% weniger Strom benötigt (vgl. Tabelle 6.15).

Tabelle 6.15: RWE1-FE Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE1 FE Beleuchtung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	4.542,70	56,19%	6,58%	379	2,84
2015	4.093,75	50,88%	6,78%	341	2,56

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vorab werden die ersten Erkenntnisse für diese Stallart des Betriebes RWE1 genannt:

- Elektronisches Vorschaltgerät würde strake Leistungsspitzen während des Einschaltens vermeiden, weil es den Stromeingang reduziert, zusätzlich bis zu 25% Energieeinsparung, also ca. 1000 bis 1100 kWh pro Jahr, bei 0,25 €/kWh also 250 bis 275 € Ersparnis. [11, 18]
- Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,3 kW) in Höhe von 1.649 kWh.
- Einsatz von LED-Leuchtmitteln überprüfen.
- Reduzierung der Beleuchtungsdauer um 1h und Vermeidung von Leistungsspitzen hat den Verbrauch um 449 kWh gesenkt.

- Anpassung der Beleuchtungsstärke zur Reduzierung der Leistungsaufnahme in fensternahe Bereichen mit einem Luxmeter.

Fütterung (trocken)

Anhand der gemittelten saisonalen Tageslastprofile konnte festgestellt werden, dass die Leistungsaufnahme in den entsprechenden Perioden variiert. Im Herbst sind in beiden Jahren die höchsten und im Sommer die niedrigsten Leistungsaufnahmen festgestellt worden (siehe Anhang B: RWE1 FE – Fütterung, vgl. Abbildung 109 und Abbildung 110). Auch hier konnte im Vergleich mit ausgewählten Messtagen die Aussagekraft des erstellten Lastprofils bestätigt werden. Daher werden keine weiteren visuellen Vertiefungen dem Anhang beigelegt. Die installierte Gesamtleistung der Fütterungsanlage beträgt 2,2 kW, gemessen wurde eine maximale Leistung von 1,3 kW. Der Fütterungsprozess liegt in der Regel im Zeitraum zwischen 06:00h und 12:00h. Vereinzelt ist es zu Abweichungen gekommen, beispielweise wurden teilweise Leistungen im Zeitraum zwischen 14:00h und 21:00h gemessen. Wobei sich 2015 der Zeitraum auf 20:00h verkürzt hat. In Abbildung 52 ist der monatliche Stromverbrauch zu sehen. Im Schnitt werden pro Tag ca. 8 kWh an Strom benötigt.

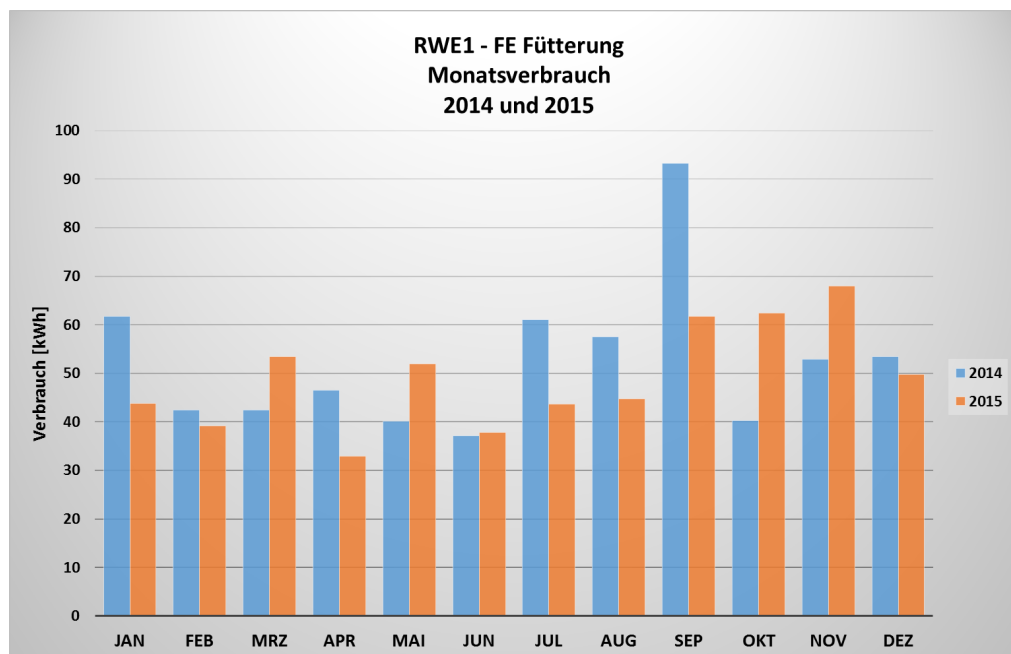


Abbildung 52: RWE1–FE Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Der Monat September im Jahr 2014 weicht deutlich ab im Vergleich mit den anderen Monaten. Anhand der Messwerte konnte festgestellt werden, dass die Fütterungsanlagen teilweise über 9 Stunden in Betrieb waren. Konkrete

Erklärungsansätze konnten bisher nicht gefunden werden, hier müsste Rücksprache mit dem Landwirt gehalten werden. Die Schwankungen des Verbrauchs sind ebenfalls durch die Stallbelegung, durch das Alter und Gewicht bedingt. Im Schnitt wurden ca. 250 kWh pro Monat verbraucht (siehe Tabelle 6.16).

Tabelle 6.16: RWE1-FE Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE1 FE Fütterung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	2.777,05	34,35%	4,02%	231	1,74
2015	3.214,39	39,95%	5,32%	268	2,01

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vor allem der Vergleich mit dem Flüssigfütterungssystem wird deutlich machen, dass die Trockenfütterung aus energetischer Sicht im Vorteil ist. Vorab werden die ersten Erkenntnisse und Empfehlungen genannt:

- Überprüfung des übermäßigen Verbrauchs im September 2014
- Prüfen ob durch zusätzliche Lagermöglichkeiten (Silo) die Futtermittelpreparation für den gesamten Tag in die Sonnenzeit verschoben werden kann. Ermitteltes Lastverschiebepotential von ca. 277 kWh pro Jahr (Annahme: Optimaler Zeitraum für Solarstromausnutzung 09:00h – 17:00h [21])

6.5.2 RWE2 – 2014 und 2015

Die typischen über den Tag verteilten Leistungsaufnahmen sind in Abbildung 53 sowohl für das Jahr 2014 als auch für das Jahr 2015 dargestellt. Die Zusammensetzung des Tageslastgangs wird im weiteren Verlauf deutlicher gemacht, wenn die Stallarten einzeln betrachtet werden. Zur ersten Einordnung kann jedoch bereits für beide Jahre festgehalten werden, dass die Leistungsaufnahme um die 6 bis 7 kW im Zeitraum 00:00h bis 05:00h vornehmlich durch die Lüftungsanlagen in beiden Stallarten bestimmt wird. Der Leistungsanstieg von ca. 6 bzw. 7 kW auf 10 bis 12 kW nach 05:00h wird durch den Einschaltvorgang der Flüssigfütterungsanlagen in beiden Stallarten verursacht und ist auch im weiteren Tagesverlauf, zusammen mit den Beleuchtungseinrichtungen für die erhöhte Leistungsaufnahme verantwortlich. Hinzu kommt eine

leicht erhöhte Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen, bedingt durch steigende Tagestemperaturen und vermehrter Aktivität der Tiere im Stall. Die Leistungsschwankungen über den Tag werden abermals durch die Fütterungsprozesse verursacht. Vor 19h werden die Fütterungsanlagen abgeschaltet und bedingt durch sinkende Temperaturen die Lüftungsanlagen gedrosselt, wodurch die Leistung zu den Abendstunden auf die Grundlast von ca. 6 bzw. 7 kW abfällt. Bereits hier wird ersichtlich, dass im Jahr 2015 mehr Leistung abgerufen wurde.

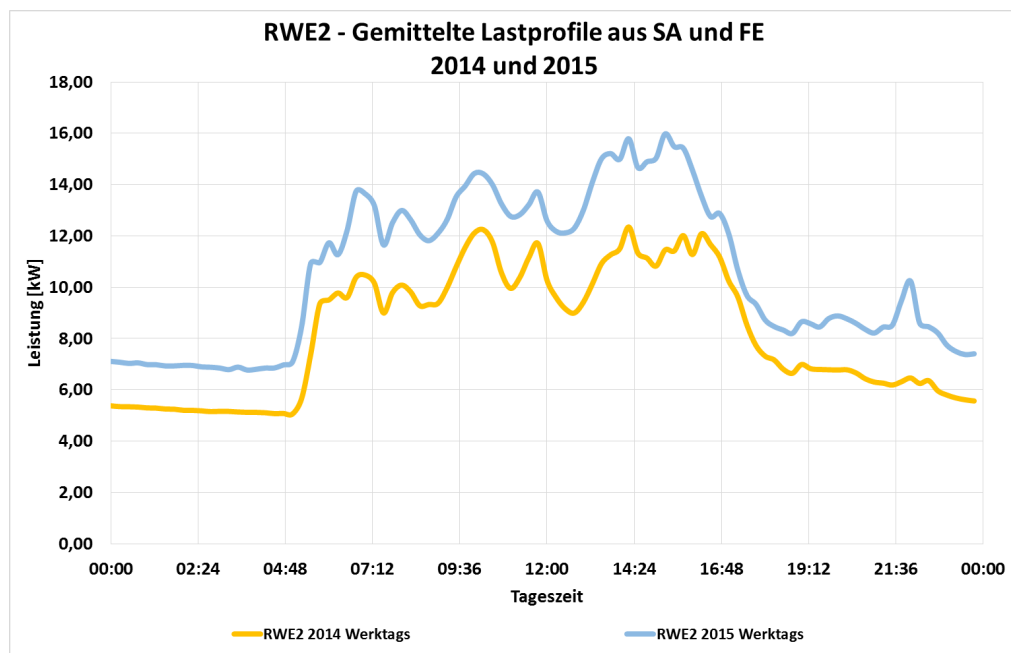


Abbildung 53: RWE2 – Gemittelttes Lastprofil aus Sauen- und Ferkelaufzucht 2014 und 2015

Um weitere Eindrücke vom untersuchten Betrieb RWE2 zu erhalten, sind in Abbildung 54 sowohl die gemessenen Stromverbräuche des gesamten Betriebes im Vergleich 2014 und 2015, als auch der jeweiligen Stallarten dargestellt. Wie bereits in Abbildung 53 ersichtlich, konnte beim Betrieb RWE2 eine Zunahme des elektrischen Energieverbrauchs um ca. 11.000 kWh festgestellt werden. Bei Betrachtung der Stallarten wird sichtbar, dass der angesprochene Anstieg für den gesamten Betrieb, durch Mehrverbrauch in beiden Stallarten (SA ca. 7.500 kWh und FE 3.500 kWh) zurückzuführen ist. Wie schon bereits beim RWE1 Betrieb dargestellt wurde, lässt sich auch hier festhalten, dass der Sauenstall energieintensiver ist.

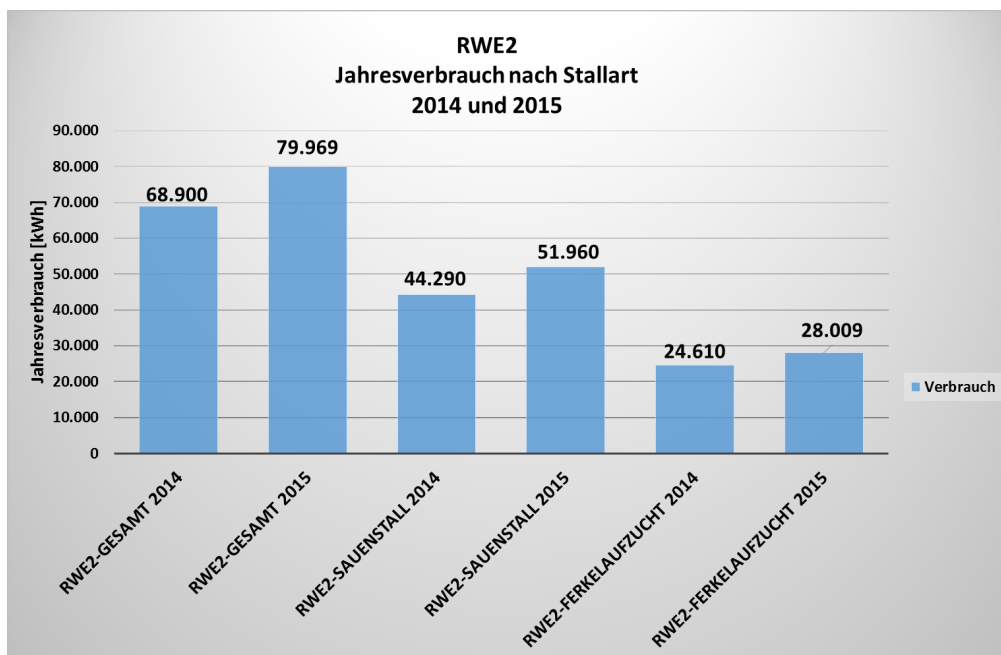


Abbildung 54: RWE2 - Jahresverbrauch nach Stallart 2014 und 2015

Um weitere und vor allem qualitativere Aussagen über den Betrieb RWE2 treffen zu können, werden nun in Kapitel 6.5.2.1 und Kapitel 6.5.2.2 die beiden Stallarten für sich näher untersucht.

6.5.2.1 RWE2 - Sauenstall

Für die weitere Betrachtung sind die Angaben aus Tabelle 6.17 von großer Bedeutung. Die Angaben sind im Rahmen der Betriebsdatenerhebung aufgenommen worden und sind weitestgehend vollständig.

Tabelle 6.17: RWE2 - Betriebsdaten Sauenstall

RWE 2 Sauenstall	
Anzahl Tierplätze	840
Lüftungssystem	Zentralabsaugung, 6 frequenzgeregelte Regelventilatoren
Leistung Lüftung	11,1 kW (3 x 1,5 kW und 3 x 2,2 kW)
Leistung Fütterung (flüssig)	16,9 kW (2 Mischer x 2,2 kW; Mischerauslauf = 0,75kW; Futterpumpe = 4 kW; Komponentenförderg. = 1 x 1,5 kW, 1 x 1,1 kW, 1 x 0,75 kW; Komp-Quertrog 1 x 1,1 kW; Säurepumpe 1 x 0,2 kW)
Futtermenge	1700 t (TF)

Die Grundlagen über die Sauenhaltung bzw. die Ferkelerzeugung wurden in Kapitel 6.1.2 zunächst erläutert. Insgesamt gibt es 840 Tierplätze, die genaue Stallaufteilung (Tierplätze in Deck- Warte-, und Abferkelbereich) sind nicht bekannt. In Anbetracht der festgelegten Messpunkte (vgl. Tabelle 6.3) sind vor allem die Betriebsspezifischen Daten von Interesse, die im Zusammenhang mit den Messpunkten stehen. Hervorzuheben sind demnach das Lüftungssystem, die Fütterungsanlagen und die Futtermenge. Angaben zum Beleuchtungssystem oder zu den Reinigungs- und Entmistungsprozessen (Messpunkt „Sonstiges“ sind bisher nicht vorhanden. Dennoch lassen sich die über den Tag auftretenden Leistungsaufnahmen genauer erklären (siehe Abbildung 55 und Abbildung 57). Im Folgenden werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 getrennt dargestellt. Des Weiteren sind nur die Tageslastprofile für die Werktage aufgetragen. An dieser Stelle wird deshalb darauf hingewiesen, dass auch für den Betrieb RWE2 an den Wochenenden identische Verläufe festgestellt wurden, mit dem einzigen Unterschied einer in der Regel etwas geringeren Leistungsaufnahme. Zudem wird untersucht, wie sich der anteilige Verbrauch im Sauenstall in beiden Jahren zusammensetzt.

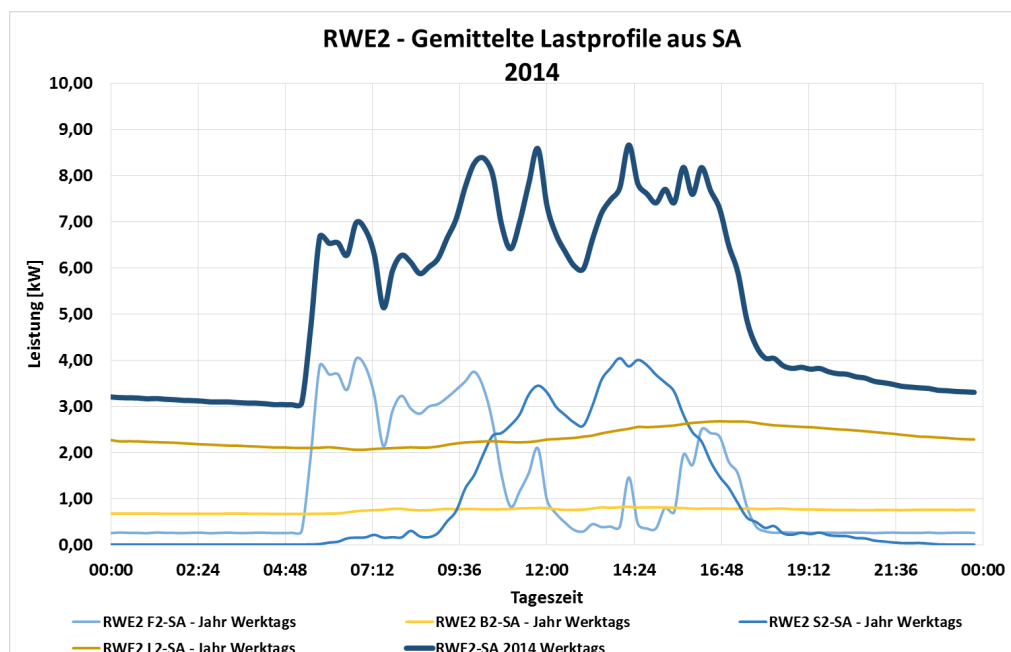


Abbildung 55: RWE2– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2014

In Abbildung 55 sind die Tageslastprofile der Messpunkte im Sauenstall zu sehen. Darüber befindet sich in Dunkelblau das addierte stallspezifische Tageslastprofil. Wie schon zu Beginn des Kapitels 6.5.2 erwähnt, ist die Grundlast vornehmlich auf das Lüftungssystem (RWE2 L2-SA) zurückzuführen, da dieses den ganzen Tag über eingeschaltet ist, um den klimatischen Anforderungen gerecht zu werden. Hier fällt bereits auf, dass der Messpunkt Beleuchtung (RWE2 B2-SA) einen eher untypischen und nicht den Erwartungen entsprechenden Tagesverlauf zeigt. Erwartungsgemäß wird die Beleuchtung morgens einmalig eingeschaltet und abends wieder ausgeschaltet, dies ist jedoch nicht zu erkennen, stattdessen ist eine relativ konstante gemittelte Leistung um die 0,9 kW zu erkennen. Der Vollständigkeit wegen ist der Messpunkt RWE2 S2-SA in Abbildung 55 enthalten, obwohl es sich hier um einen Verbraucher handelt, der nicht kontinuierlich am addierten stallspezifischen Tageslastprofil beteiligt ist. An 124 Tagen von 365 Messtagen (im Jahr 2014) ist es zu keiner Leistungsaufnahme gekommen, dementsprechend war nur an jedem 3. Tag mit einer Leistungsaufnahme zu rechnen. Der Leistungsanstieg ab 05:00 entsteht demnach einzig durch die Anlagen zur Futterversorgung (RWE2 F2-SA). Bereits hier wird deutlich, dass die Flüssigfütterung sehr aufwendig gestaltet ist und der Prozess über den Tag im Schnitt 10 Stunden läuft.

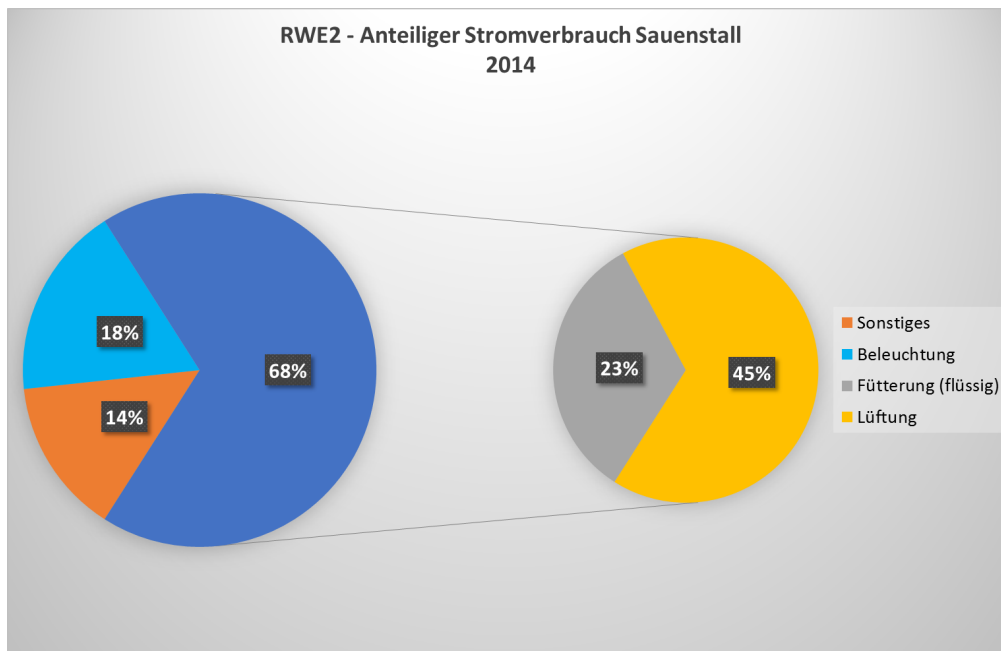


Abbildung 56: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2014

Der Stromverbrauch setzt sich demnach zu 68% aus den beiden Messpunkten Lüftung (45%) und Fütterung (23%) zusammen. Die Beleuchtung hat einen Anteil von 18% und der Messpunkt Sonstiges einen Anteil von 14% am Gesamtverbrauch (44.290 kWh) gehabt. Die gemittelten Tageslastprofile für das Jahr 2015 aus Abbildung 57 zeigen auf den ersten Blick keine wesentlichen Veränderungen gegenüber 2014, die relevanten Veränderungen zum Vorjahr werden zu einem späteren Zeitpunkt aufgegriffen, wobei hier auf die Darstellung des Verbrauchers RWE2 S2-SA verzichtet wurde. Dadurch wird im Vergleich mit Abbildung 55 deutlich, wie sich ein Tageslastgang ohne Reinigungs- und Entmistungsprozesse zusammensetzt.

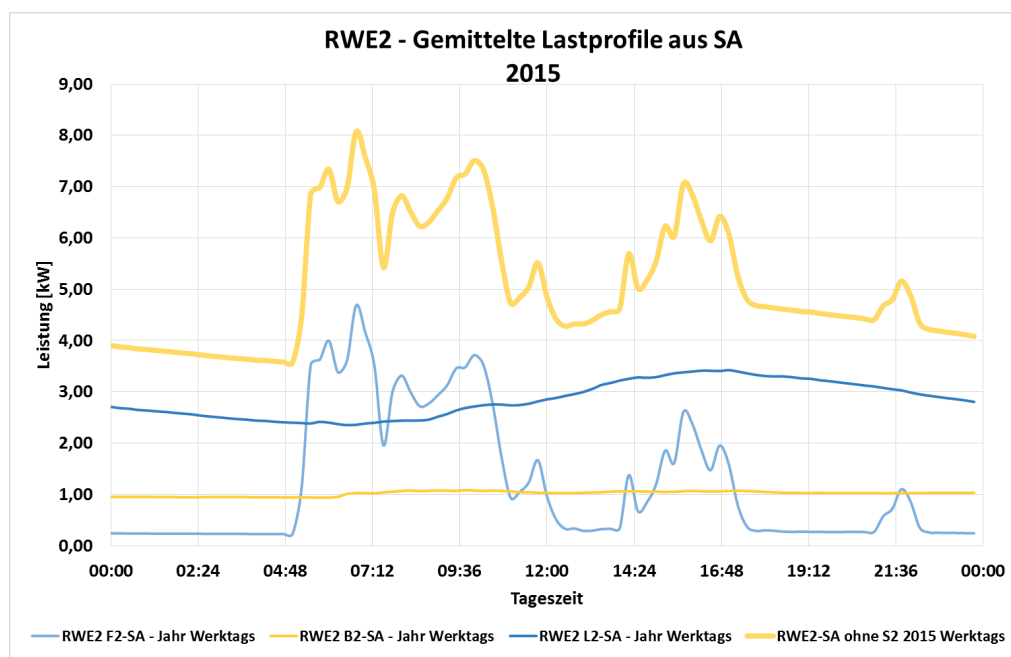


Abbildung 57: RWE2– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung ohne Messpunkt S2 2015

Hervorzuheben ist allerdings, dass die maximale Leistungsaufnahme in den Morgenstunden um ca. 1 kW gestiegen und die Leistungen generell im Jahr 2015 etwas höher waren, wodurch auch der für das Jahr 2015 zu verzeichnende gestiegene Verbrauch deutlich wird. Die bereits beschriebenen Abläufe sind diesem Diagramm ebenfalls zu entnehmen.

Der anteilige Stromverbrauch hat sich im Folgejahr verändert, so dass im Jahr 2015 die Lüftung und Beleuchtung über 69% am Gesamtverbrauch ausgemacht haben (siehe Abbildung 58). Der Anteil der Lüftung und Beleuchtung ist

jeweils um 3% gestiegen, der Anteil der Fütterung und des Messpunktes Sonstiges um jeweils 3% gesunken. Der Gesamtverbrauch 2015 betrug 51.959 kWh. Das entspricht einem Anstieg von 17%.

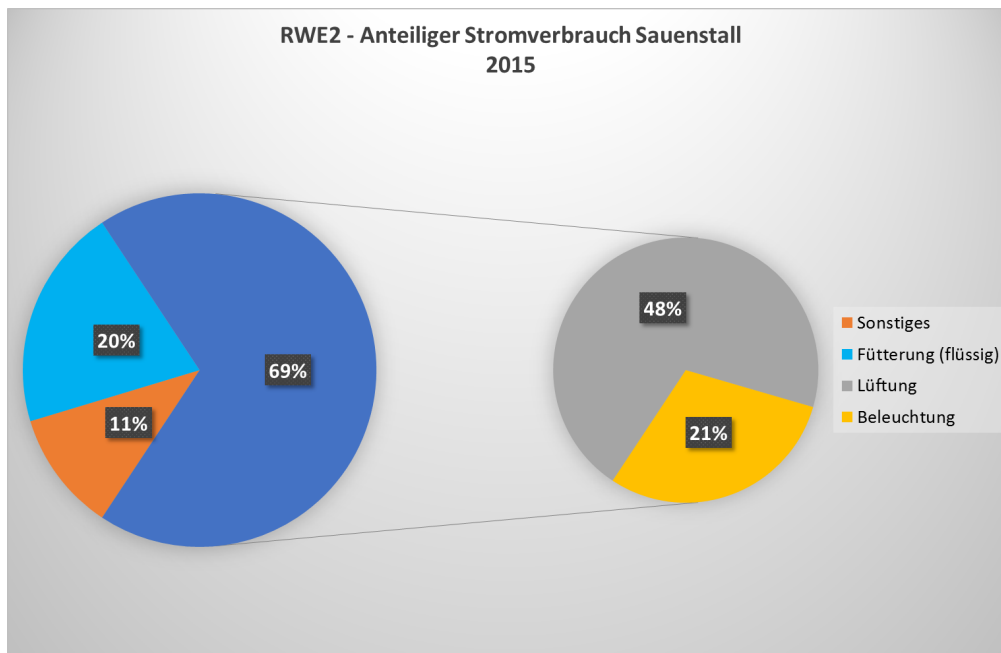


Abbildung 58: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2015

Für den Sauenstall des RWE2 Betriebes lässt sich festhalten, dass der Messpunkt Lüftung in beiden Jahren den höchsten anteiligen Stromverbrauch hatte. Die Fütterung und Beleuchtung wurden als weitere anteilige Hauptstromverbraucher identifiziert.

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt, können nun energiespezifische Kennzahlen berechnet werden. Dabei werden die elektrischen Verbräuche der jeweiligen Messpunkte im Sauenstall des RWE2 Betriebes (vgl. Tabelle 6.3) durch die Anzahl der vorhandenen Tierplätze geteilt, in diesem Fall 840 Sauenplätze (vgl. Tabelle 6.17). Durch einen Vergleich mit den erhobenen Energiebedarfskennzahlen der KTBL, die aus Abbildung 31 abgeleitet wurden, können möglicherweise erste Erkenntnisse über die Effizienz der verbauten Komponenten gewonnen werden (siehe Tabelle 6.18). Im Vergleich mit den abgeleiteten Kennzahlen des KTBL ist zu sehen, dass die berechneten Kennzahlen des RWE2 Sauenstalls den erwarteten Bedarf an Energie, abgesehen vom Messpunkt Sonstiges im Jahr 2014, unterbieten. Unter Berücksichtigung der Betriebsdaten in Tabelle 6.17 geht hervor, dass bei der Abluftführung (Oberflur-

Zentralabsaugung) eine strömungsgünstige Variante verbaut ist. [16] Zur Zu-
luftführung sowie zur Kaminbauart des Lüftungssystems sind keine Angaben
vorhanden, aber aufgrund der berechneten Kennzahlen und im Vergleich mit
den Formeln zur Berechnung des Energiebedarfs eines Lüftungssystems ist
davon auszugehen, dass das Lüftungssystem optimal konfiguriert ist. [16] Des
Weiteren werden ausschließlich frequenzgeregelter Ventilatoren eingesetzt,
dementsprechend sind hier Effizienzverbesserungen nur durch den Einsatz
von Ventilatoren mit EC-Technik (Motoren mit elektrischer Kommutierung) zu
erwarten. Die Umrüstung würde gegenüber Frequenztechnik ein Einsparpo-
tential von lediglich 5% ausmachen, daher würde sich beim RWE2 Sauenstall
die Umrüstung nur bei alten oder defekten Ventilatoren lohnen. [18, 19]

Tabelle 6.18: RWE2-SA: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchsken-
nzahlen

	RWE2 2014 [kWh/TP*a]	RWE2 2015 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	SA	SA	SA
Lüftung	24,0	29,8	51,2
Fütterung (Futtermittelzubereitung)	11,9	12,6	3,4 (20,5)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	9,3	12,7	30,7
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	7,5	6,8	6,8
Gesamt	52,7	61,9	109,2

Bei der Fütterung handelt es um ein Flüssigfütterungsverfahren mit einer in-
stallierten Gesamtleistung von 16,9 kW. Wie in Kapitel 6.1.2 und 6.1.3 be-
schrieben handelt es sich um ein energetisch aufwendiges Verfahren zur Fut-
terversorgung der Tiere. Das spiegelt sich demzufolge auch in den berechne-
ten Kennzahlen (2014 11,9 kWh/TP*a und 2015 12,6 kWh/TP*a) wieder, ob-
wohl diese dennoch unter den abgeleiteten Kennzahlen der KTBL liegen.
Energieeinsparung ließe sich hier nur durch eine Umrüstung auf das Trocken-
fütterungsverfahren erzielen. Die Entscheidungsfaktoren zur Systemwahl sind
jedoch betriebsspezifisch abzuwägen. [13, 14, 15] Bereits bei der Betrachtung
von Abbildung 40 und Abbildung 42 ist aufgefallen, dass dieser Verbraucher
entgegen seiner Bezeichnung Beleuchtung einen eher untypischen Lastver-
lauf aufweist. Zumal auch die berechneten Kennzahlen sehr deutlich von den

abgeleiteten Kennzahlen nach unten abweichen. Des Weiteren sind den Betriebsdaten keine Angaben zum eingesetzten System zu entnehmen. Im weiteren Verlauf wird dieser Verbraucher der Vollständigkeit wegen und um die Anomalien zu verdeutlichen kurz näher untersucht, jedoch lassen sich hier, auch aufgrund fehlender Angaben, keine betriebspezifischen Empfehlungen formulieren. Der Verbraucher Sonstiges, also die Reinigung und Entmistung, bietet sich an um zu überprüfen, ob diese Prozesse in Zeiten hohen Solarstromertrags durchgeführt werden und wenn nicht, ob sie in diese Zeiten verschoben werden können.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der Messpunkte beschrieben und gegebenenfalls Empfehlungen formuliert.

Lüftung

Anhand der Diagramme für 2014 und 2015 ist die jahreszeitliche Schwankung der Leistungsaufnahme deutlich zu erkennen (siehe Anhang C: RWE2 SA-Lüftung, vgl. Abbildung 111 und Abbildung 112). Das saisonale Profil aus den Sommermonaten 2015 hebt sich deutlicher von den anderen Perioden ab. Zudem sind nahezu perfekt ausgeregelte Lastverläufe über den Tagesverlauf in der jeweiligen Periode zu erkennen, welche auf die frequenzgeregelten Regelventilatoren zurückzuführen sind. Auf ausgewählte Messtage zur weiteren Visualisierung wird verzichtet, da die erstellten Lastprofile zum einem genügend Aussagekraft besitzen, um einen Überblick über diesen Verbraucher zu erhalten und zum anderen, da während der Auswertung keine Anomalien oder starke Abweichungen zu den saisonalen gemittelten Tageslastprofilen identifiziert wurden. Der Energieverbrauch nimmt mit der durchschnittlichen Jahrestemperatur zu. Der maximale Verbrauch im Jahr 2014 wurde im Juli und der minimale Verbrauch im Februar gemessen. Die Herbst- und Wintermonate am Ende des Jahres 2015 weisen einen relativ konstanten Verbrauch auf, da die durchschnittliche Temperatur um die 10 °C liegt (vgl. Abbildung 113 und Abbildung 114). Aufgrund der Tatsache, dass die Betriebe RWE1 und RWE2 auf die gleiche Wetterstation zurückgreifen (siehe Abbildung 9), kann auch hier angeführt werden, dass die durchschnittliche Jahrestemperatur 2015 gegenüber 2014 um 8 °C kälter war. Die Korrelation zur Außentemperatur wurde

durch ein weiteres Diagramm, in dem jeder gemessenen Leistung ein Temperaturwert zum jeweiligen Messzeitpunkt zugewiesen wurde, weiter beleuchtet (siehe Anhang C, vgl. Abbildung 115 und Abbildung 116). Die eingezeichnete polynomische Trendlinie weist 2014 ein Bestimmtheitsmaß von 0,677 auf und verdeutlicht die Temperaturabhängigkeit des Lüftungssystems. Die Ausreißer unterhalb von 1 kW und zwischen 2 und 13 °C sind in den Monaten Januar, Februar, März, Mai und Dezember aufgetreten. Erklärungsansätze konnten bisher nicht gefunden werden. Im Folgejahr wurde eine exponentielle Trendlinie gewählt um eine ähnlich hohes Bestimmtheitsmaß zu verwirklichen. Die exponentielle Trendlinie weist ein Bestimmtheitsmaß von 0,6458 auf, also etwas geringer als 2014. Das liegt daran, dass im Vergleich zum Vorjahr die Streuung in höheren Leistungsbereichen größer ist. Konkrete Erklärungsansätze konnten bisher nicht gefunden werden. Grundsätzlich gilt es, das Lüftungssystem regelmäßig zu reinigen, da es durch Verschmutzung zu zusätzlichen Strömungswiderständen kommen kann, wodurch die benötigte Leistung zunimmt. Aus den Betriebsdaten ging hervor, dass das Lüftungssystem eine installierte Gesamtleistung von 11,1 kW hat und aus insgesamt 3 Ventilatoren mit je 1,5 kW und 3 Ventilatoren mit je 2,2 kW besteht. Die Auswertung der Messdaten hat ergeben, dass in 4380 Jahresstunden, also die Hälfte des Jahres die Lüftungsanlage mit 20 bzw. 21% der maximalen Leistung betrieben worden ist (siehe Anhang C, vgl. Abbildung 117 und Abbildung 118). Für 2014 entspricht das 1.816 und für 2015 2.254 Volllaststunden.

Zum Abschluss fasst Tabelle 6.19 die qualitative Auswertung des Messpunktes Lüftung zusammen.

Tabelle 6.19: RWE2-SA Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 SA Lüftung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	20.163,02	45,52%	29,26%	1.680	24,00
2015	25.021,11	48,15%	31,29%	2.085	29,79

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen.

Vorab werden die ersten betriebsspezifischen Erkenntnisse genannt:

- Zentrale Abluftführung durch dezentrale ersetzen, ggf. Baukosten zu hoch, jedoch 75% weniger Strombedarf. [16, 17, 18]
- Zuluftführung überprüfen, aufgrund guter Kennzahlen ist evtl. Bauart „Futterganglüftung“ bereits vorhanden. [16]
- Kaminbauart überprüfen, aufgrund guter Kennzahlen ist evtl. Bauart „Einstromdüse und Diffusor“ bereits vorhanden. [16]
- EC-Technik ca. 35% besser als Phasenschnittregelung, jedoch nur 5% gegenüber Frequenztechnik, daher empfiehlt sich hier nur eine Umrüstung auf EC-Technik wenn die Ventilatoren defekt sind oder aufgrund ihres Alters ausgetauscht werden müssen. [16, 18, 19]

Beleuchtung

Anhand der Betriebsdaten konnte nicht festgestellt werden, wie viele Leuchtmittel im Stall installiert sind oder um welche Art von Leuchtmittel es sich im Fall vom Sauenstall des RWE2 Betriebes handelt. Als erste Annäherung und zum besseren Verständnis der getätigten Messungen, konnte mit Hilfe des KTBL Heftes 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ und den darin veröffentlichten Faustzahlen die Anzahl der Leuchten pro Tierplatz berechnet werden. Es ist jedoch zu erwähnen, dass die Stallaufteilung nicht bekannt ist, demnach wurden die Angaben Leuchten pro Tierplatz im Abferkel (0,21), als auch für den Deck- und Wartebereich (0,13) gemittelt und mit dem Faktor 0,17 Leuchten pro Tierplatz gerechnet, bei 840 TP entspricht das 143 Leuchtstoffröhren. Gemessen wurde eine Maximalleistung um die 4 kW, daraus ergibt sich eine Leistung pro Leuchtmittel von 36 Watt. Aus der saisonalen Aufteilung der Lastgänge geht hervor, dass für diesen Verbraucher im Winter und Frühling die höchsten gemittelten Leistungsaufnahmen zwischen 0,9 und 1,6 kW und im Sommer sowie Herbst um die 0,4 bis 0,8 kW liegen (siehe Anhang C: RWE2 SA-Beleuchtung, vgl. Abbildung 119 und Abbildung 120). Zur Verdeutlichung, dass es sich hier höchstwahrscheinlich nicht um den Verbraucher Beleuchtung handelt, werden im Anhang C: RWE2 SA-Beleuchtung ausgewählte wöchentliche Messreihen vorgestellt. Die gemessenen Leistungsbe-
reiche und deren Häufigkeit sind in Anhang C: RWE2 SA-Beleuchtung Tabelle 0.1 zu finden. Unter Berücksichtigung der gezeigten Lastprofile vom Betrieb

RWE1 und dem Messpunkt Beleuchtung wird diese Annahme besonders deutlich. Teilweise sind konstante Leistungsaufnahmen um die 1 kW über mehrere Tage gemessen worden und zwischendurch sind Leistungsspitzen zwischen 2 und 4 kW erkennbar.

Abbildung 59 zeigt den monatlichen Stromverbrauch für die beiden betrachteten Jahre des Hauptstromverbrauchers Beleuchtung des Betriebes RWE2-SA. Es ist zu sehen, dass der Verbrauch immensen Schwankungen unterlegen war und nicht dafür spricht, dass es um den Verbraucher Beleuchtung handelt.

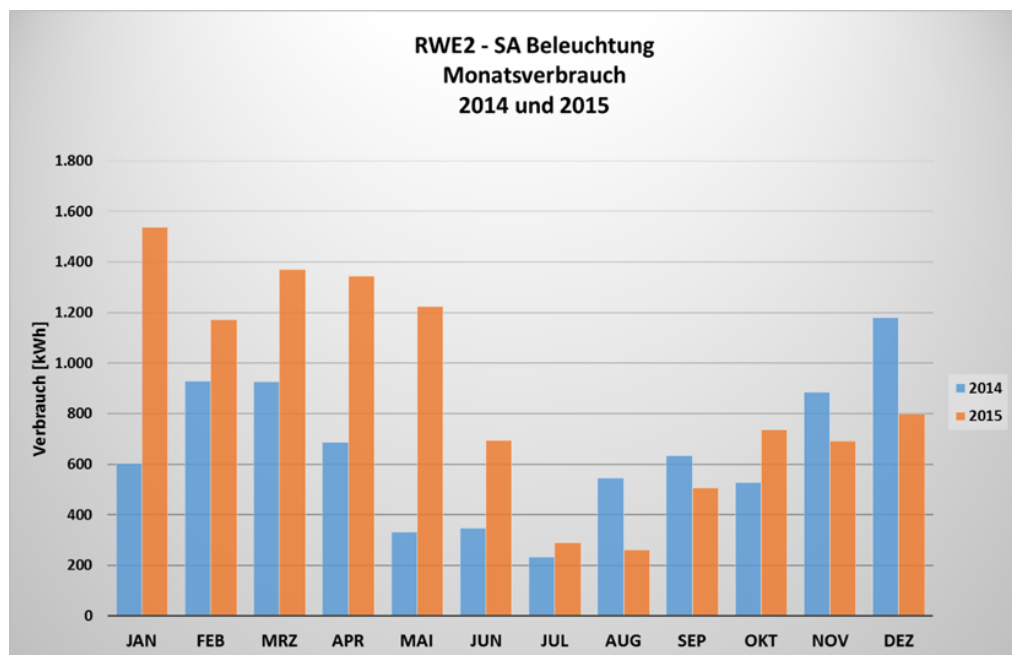


Abbildung 59: RWE2-SA Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Der durchschnittliche Stromverbrauch lag bei ca. 650 und 900 kWh pro Monat und ist insgesamt um ca. 2.800 kWh angestiegen (vgl. Tabelle 6.20).

Tabelle 6.20: RWE2-SA Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 SA Beleuchtung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	7.829,18	17,68%	11,36%	652	9,32
2015	10.624,42	20,45%	13,29%	885	12,65

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen, aufgrund der dargestellten und herausgearbeiteten Probleme mit der Identifizierung dieses Verbrauchers nicht aufgegriffen, da eine Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Nun werden die wesentlichen Erkenntnisse genannt:

- Überprüfung um welchen tatsächlichen Verbraucher es hier an diesem Messpunkt handelt.
- Keine Aussagen oder Empfehlungen möglich.
- Kein konstanter Verbrauch erkennbar, starke Schwankungen zwischen 2014 und 2015, Gründe unbekannt bzw. siehe Punkt 1.

Sonstiges

Der Messpunkt „Nebenverbraucher/Sonstiges“ ist als Messpunkt für die Entmistungs- und Reinigungsprozesse innerhalb des Stalls zu interpretieren. Die Technik der Entmistung ist abhängig vom eingesetzten Haltungsverfahren. Der Energieaufwand für die Entmistungs- und Reinigungsprozesse der Stallanlagen ist im Vergleich zu den anderen dargestellten Verbrauchern gering. Die Reinigung der Stallabteile erfolgt üblicherweise mit elektrisch angetriebenen Hochdruckreinigern. Diese Geräte sind hinsichtlich Bauart und elektrischer Leistungsaufnahme in der Praxis relativ einheitlich. [11] Die Anzahl der Umtriebe bestimmt die Häufigkeit der Reinigungsvorgänge je Jahr. Für den Energiebedarf wird die zu reinigende Stallfläche als Bezugsgröße angenommen, jedoch sind für den RWE2 Betrieb diese Angaben bisher noch nicht vorhanden. Des Weiteren werden daher die Jahre 2014 und 2015 hinsichtlich der Reinigungszeiten und resultierenden Energieverbräuche über den Tag betrachtet.

Aufgrund der Tatsache, dass keine saisonalen Abhängigkeiten zwischen den Leistungsaufnahmen festgestellt wurden, wird auf eine saisonale Darstellung des Lastprofils verzichtet, demnach werden im Anhang C: RWE2 SA-Sonstiges in Abbildung 121 und Abbildung 122 die gemittelten Tageslastprofile über das gesamte Jahr gezeigt. In der Regel wird die Stallreinigung an den Werktagen durchgeführt. Reinigungsarbeiten am Wochenende sind eher die Ausnahme. Durch die Mittelung reduziert sich die maximale Leistung auf 4,11 kW. Im Messzeitraum 2014 wurde die Maximalleistung aus beiden Jahren von 16,4 kW gemessen. Im Jahr 2015 ist der Zeitraum der Prozesse annähernd gleich, allerdings ist der Samstag zu den Werktagen verschoben und sonntags konnten keine Entmistungs- und Reinigungsprozesse festgestellt werden.

Es wurde überprüft zu welchen Zeiten die Prozesse durchgeführt wurden (siehe Anhang C: RWE2 SA-Sonstiges Tabelle 0.2). Die eigentliche Reinigung

hat im Jahr 2014 im Zeitraum zwischen 05:30h bis 22:45h stattgefunden. Es ist zu erkennen, dass insgesamt 187 kWh durch Stand-by Verbraucher unter 1kW abgerufen wurden. Die Kernzeit von Reinigungsarbeiten ist zwischen 09:00h bis 17:00h. 2015 ist die Kernzeit unter Beachtung des gemittelten Lastprofils beinahe gleich geblieben, allerdings hat sich der Zeitraum in der Leistungen über 1 kW abgerufen wurden auf 06:30h bis 19:45h verkleinert. An 124 Tagen von 365 Messtagen ist es zu keiner Leistungsaufnahme gekommen, dementsprechend ist an jedem 3.Tag mit einer Leistungsaufnahme zu rechnen. Im Anhang C: RWE2 SA-Sonstiges befinden sich exemplarische Messreihen des Messpunktes Sonstiges, um weitere Einblicke vom Leistungsverlauf des Entmistungs- und Reinigungsprozess zu erhalten. Die monatlichen Stromverbräuche sind in Abbildung 60 dargestellt.

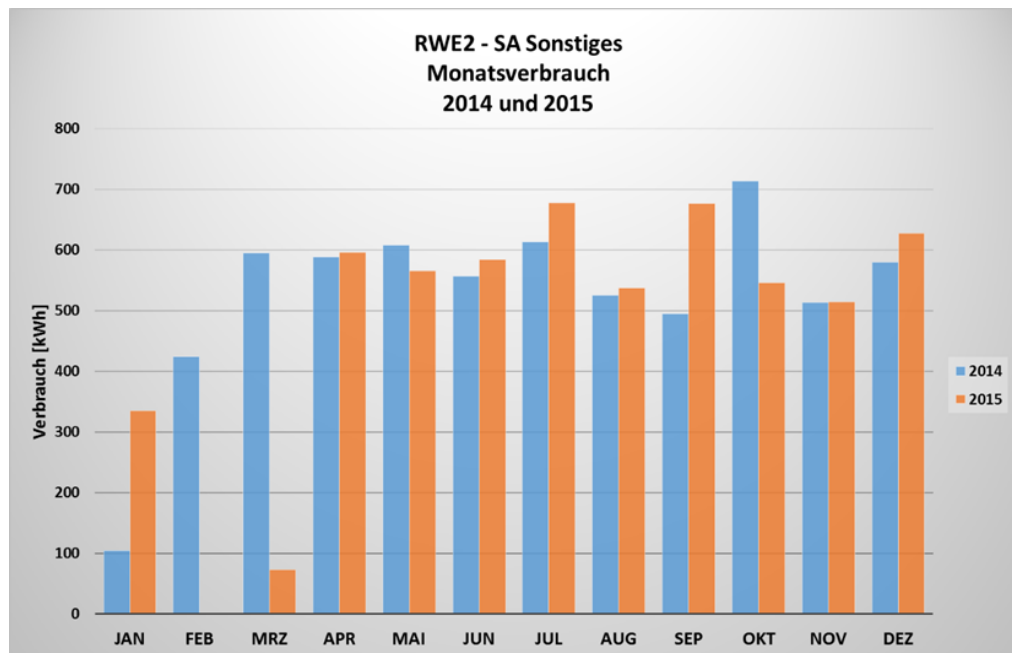


Abbildung 60: RWE2–SA Sonstiges Monatsverbrauch 2014 und 2015

Es ist zu erkennen, dass im Januar, Februar und März 2015 stark abweichende Stromverbräuche gemessen wurden, aufgrund von Übertragungsschwierigkeiten sind für 2015 nicht alle Daten vollständig (Es fehlen 11 Tage im Januar, 25 Tage im März, der Februar komplett und der 31.12.2015). Ansonsten lässt sich festhalten, dass im Schnitt zwischen 500 und 600 kWh pro Monat benötigt wurden. Die Schwankungen sind bedingt durch die Anzahl der Umtriebe und der Stallbelegung. Die nachfolgende Tabelle 6.21 fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen.

Tabelle 6.21: RWE2-SA Sonstiges: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 SA Sonstiges [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	6.316,30	14,26%	9,17%	526	7,52
2015	5.731,89	11,03%	7,17%	478	6,82

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen, jedoch sind Vergleiche mit anderen Betrieben nicht möglich, da im Rahmen dieser Arbeit nur eine Kennzahl bezüglich Reinigung und Entmistung vorliegt (vgl. Tabelle 6.3). Vorab werden die betriebspezifischen Erkenntnisse und Empfehlungen genannt:

- In Anbetracht der Sonneneinstrahlung und einem möglichst hohem Eigenverbrauchsanteil von Solarstrom bietet es sich an, die Prozesse in einen Zeitraum zwischen 09:00h bis 17:00h zu verlegen. [21]
- Für 2015 sind nicht alle Daten vollständig.
- In 2014 hätten 466 kWh und 2015 169 kWh in den optimalen Zeitraum 09:00h bis 17:00h verschoben werden können (Für 2015 aufgrund der Fehltage deutlich geringer).
- Bei 11 Cent/kWh PV-Stromkosten [22] und bei angenommenen 25 Cent/kWh Strombezugskosten entspricht das einer geringen Einsparung von 8,89 €.

Fütterung (flüssig)

In Kapitel 6.1.3 wurde das System der Flüssigfütterung bereits beschrieben und anhand eines Standardlastprofils visualisiert. Entsprechend der Betriebsdaten sind im Fall vom Betrieb RWE2 Sauenstall beträgt die installierte Leistung des Fütterungssystems 16,9 kW. Die Aufteilung der Gesamtleistung ist in Tabelle 6.17 aufgeschlüsselt. Mit Hilfe dieser Angaben können die täglichen Lastgänge des Messpunktes Fütterung interpretiert werden. Das Zusammenspiel und die zeitliche Abfolge der jeweiligen Komponenten ist in Abbildung 61 dargestellt. Im Vergleich mit den gemittelten saisonalen Lastprofilen in Anhang C: RWE2 SA-Fütterung (vgl. Abbildung 123 und Abbildung 124) sind die festen Zeiten des Prozesses gut zu erkennen. In der Regel beginnt die Leistungsaufnahme (Leistungen größer 0,25 kW) um 05:30h und endet um 18:00h. Auffällig

ist jedoch, dass im Jahr 2015 in der Herbstperiode Leistungsspitzen zwischen 21:15h und 22:15h festgestellt wurden.

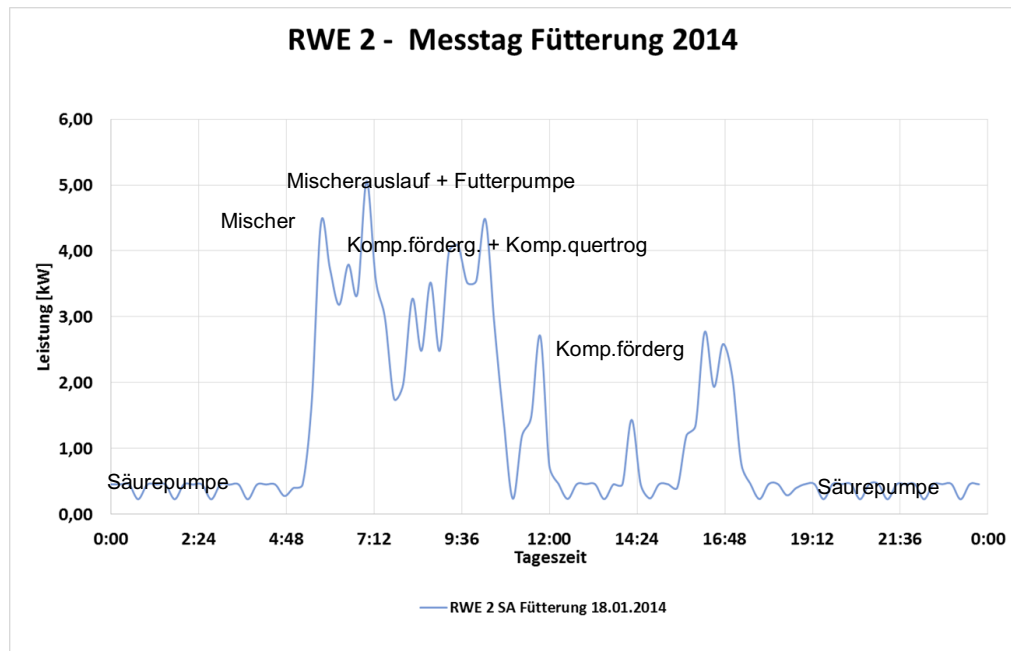


Abbildung 61: RWE2 – SA Fütterung am 18.01.2014

Wenn abermals davon ausgegangen wird das übers Jahr gesehen der Zeitraum 09:00h bis 17:00h eine bestmögliche Versorgung mit Solarstrom gewährleistet, dann lässt sich für den Sauenstall vom RWE2 Betrieb festhalten, dass 2014 4.606 kWh und 2015 4.803 kWh in diesem Zeitraum verbraucht wurden. Das heißt, dass in beiden Jahren ungefähr die Hälfte des gesamten Verbrauchs in diesem Zeitfenster gemessen wurde (vgl. Tabelle 6.22). Pro Tag werden im Schnitt 28,5 kWh für die Fütterung benötigt. In jedem Fall ist zu erkennen, dass die Flüssigfütterung deutlich aufwendiger ist, was sich zu guter Letzt auch am benötigten Energieaufwand im Vergleich mit dem Trockenfütterungsverfahren ablesen lässt (vgl. Tabelle 6.10 und Tabelle 6.22). Die monatlichen Verbräuche liegen um die 800 und 900 kWh (siehe Abbildung 62). Je nach Stallbelegung und Alter variieren die Futterrationen, wodurch es zu natürlichen Schwankungen im Strombezug kommt.

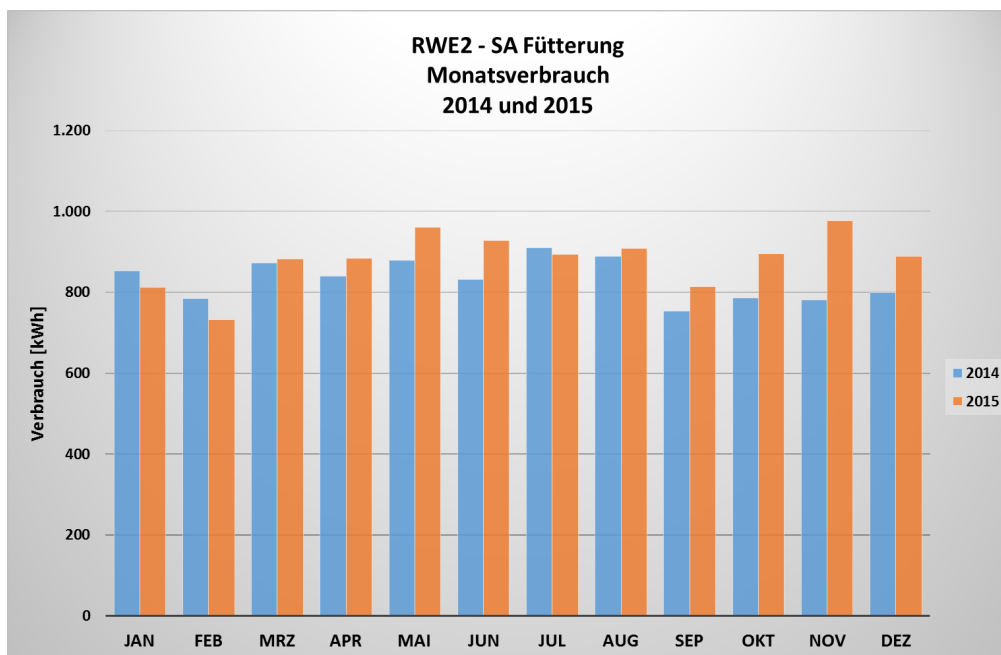


Abbildung 62: RWE2–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Die nachfolgende Tabelle 6.22 fasst die Ergebnisse der Auswertung zusammen. Aufgrund der Angabe zur durchschnittlichen Futtermenge von 1.700 Tonnen (siehe Tabelle 6.17) kann hier die spezifische Kennzahl Wattstunde pro Kilogramm Futtermenge gebildet werden. Nach dem KTBL Heft 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ wird der Energiebedarf sowohl für den Deck- und Wartebereich als auch für den Abferkelbereich mit 3,2 Wattstunden pro Kilogramm Futtermenge für ein Flüssigfütterungssystem mit Spiralförderer angegeben. Demnach ergibt sich für die gesamte Ferkelerzeugung ein Energiebedarf von 6,4 Wh/kg Futter. Die für den Sauenstall des RWE2 Betriebes berechneten Kennzahlen decken sich demnach mit dem zu erwartenden Energiebedarf pro Kilogramm Futter und liegen sogar um 0,6 bzw. 0,2 Wh/kg Futter darunter (vgl. Tabelle 6.22).

Tabelle 6.22: RWE2-SA Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 SA Fütterung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	Wh/ kg	kWh/ TP*a
2014	9.981,91	22,54%	14,49%	832	5,87	11,88
2015	10.582,14	20,37%	13,23%	882	6,22	12,60

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vor allem der Vergleich mit den Trockenfütterungssystemen wird deutlich machen,

dass die Flüssigfütterung einen deutlich höheren Energiebedarf vorzuweisen hat und aufgrund der hohen hygienischen Anforderungen ein Einsatz von zusätzlichen Futtersilos nicht sinnvoll erscheint, da die angemischte Futterration möglichst schnell verteilt werden muss. Nun werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst:

- Lastverschiebung ist aufgrund der angesprochenen Merkmale der Flüssigfütterung eher unwahrscheinlich.
- Momentaner Fütterungszeitplan ermöglicht eine 50%-Deckung des täglichen Strombedarfs aus Solarstrom (Annahme des optimalen Zeitraums der Solarstromerzeugung 09:00h bis 17:00h [21]), eine Steigerung bedarf einer konkreten Systemanalyse Vorort.

6.5.2.2 RWE2 – Ferkelaufzuchtstall

Die Grundlagen über die Ferkelaufzucht wurden in Kapitel 6.1.2 zunächst erläutert. Für die weitere Betrachtung sind die Angaben aus Tabelle 6.23 relevant, da sie zum einen Aufschluss über die Tierzahlen und Plätze geben, zum anderen offenbaren die Angaben welche Produktionstechniken eingesetzt werden. Die Angaben sind im Rahmen der Betriebsdatenerhebung aufgenommen worden und sind weitestgehend vollständig.

Tabelle 6.23: RWE2 - Betriebsdaten Ferkelaufzuchtstall

RWE 2 Ferkelaufzuchtstall	
Anzahl Tierplätze	4.120
Lüftungssystem	Zentralabsaugung, Frequenzregelung über Gruppenschaltung, Luft-Luft-Wärmetauscher
Leistung Lüftung	6 kW (4 x 1,5 kW)
Leistung Fütterung (flüssig)	19 kW (Mischer 2 x 1,5 kW; Mischerauslauf 1 x 0,55 kW; Futterpumpe 1 x 4 kW; Komponentenförd. = 1 x 1,5 kW; 1 x 1,1 kW; 3 x 0,55 kW; Komp.-Quertrog 1 x 1,1 kW; Säurepumpe 1 x 0,55 kW; Komp.-Alt 1 x 1,5 kW; Wasserpumpe 1 x 4 kW)
Futtermenge	1600 t (TF)

Insgesamt gibt es 4.120 Ferkelplätze, näheres über die Stallaufteilung ist nicht bekannt. In Anbetracht der festgelegten Messpunkte (vgl. Tabelle 6.3) sind vor allem die Betriebsspezifischen Daten von Interesse, die im Zusammenhang mit den Messpunkten stehen. Hervorzuheben sind demnach das Lüftungssystem, die Fütterungsanlagen und die Futtermenge. Angaben zum Beleuchtungssystem oder zu den Reinigungs- und Entmistungsprozessen (Messpunkt „Sonstiges“ sind bisher nicht vorhanden. Zudem hat die Plausibilitätsprüfung zur Bestimmung der Zählergenauigkeit ergeben, dass der Messpunkt „Sonstiges“ für eine Auswertung nicht geeignet ist (siehe Anhang A: Plausibilitätsprüfung). Das liegt zum einem an einer hohen Anzahl an Fehlwerten und zum anderen gab es Schwierigkeiten bei der Datenübertragung. Nichts desto trotz lassen sich die über den Tag auftretenden Leistungsaufnahmen genauer erklären (vgl. Abbildung 63 und Abbildung 65). Im Folgenden werden, wie bereits bei den anderen untersuchten Betrieben, aus Gründen der Übersichtlichkeit die Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 getrennt dargestellt. Zudem wird untersucht, wie sich der anteilige Verbrauch im Ferkelaufzuchtstall in beiden Jahren zusammensetzt.

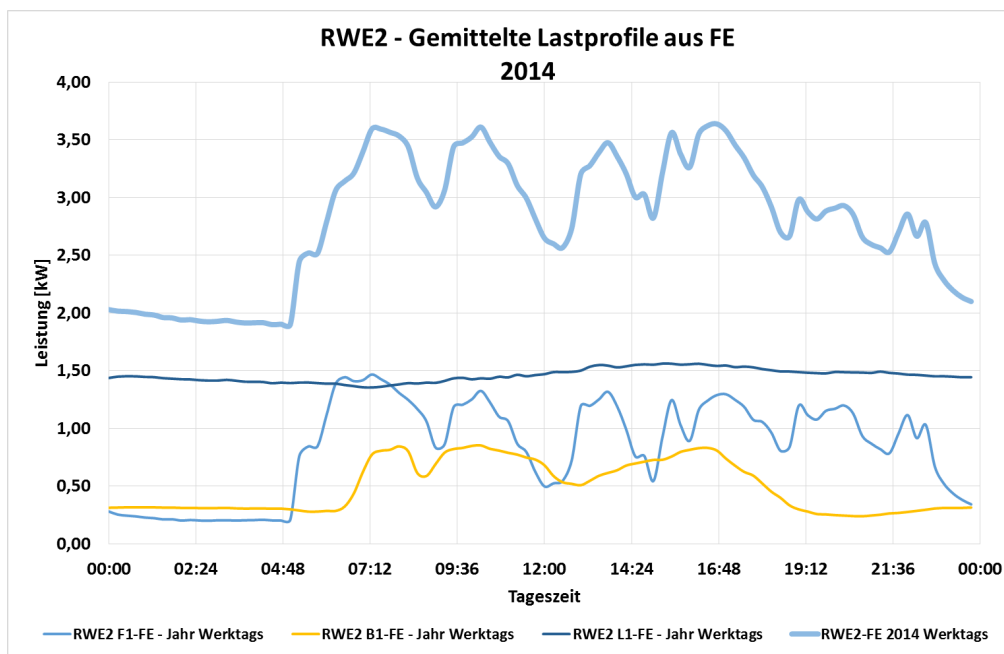


Abbildung 63: RWE2 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2014

In Abbildung 63 sind die jeweiligen Tageslastprofile der Messpunkte im Ferkelaufzuchtstall zu sehen. Darüber befindet sich das addierte Stallspezifische Tageslastprofil. Wie schon zu Beginn des Kapitels 6.5.2 erwähnt, ist die

Grundlast vornehmlich auf das Lüftungssystem (RWE2 L1-FE) zurückzuführen, da dieses den ganzen Tag über eingeschaltet ist, um den klimatischen Bedingungen gerecht zu werden. Der Leistungsanstieg entsteht demnach durch die Anlagen zur Futterversorgung (RWE2 F1-FE) und der Beleuchtungstechnik (RWE2 B1-FE), wobei erstgenannte auch für die auftretenden Leistungsspitzen verantwortlich sind. Die Beleuchtung wird nur einmalig morgens ein- und abends ausgeschaltet. Die Fütterungsanlagen setzen sich aus verschiedenen Einzelkomponenten die über den Tag verteilt ein-, zu- oder abgeschaltet werden. Der Leistungsanstieg ab 05:00h entsteht einzig durch die Anlagen zur Futterversorgung (RWE2 F2-FE). Bereits hier wird deutlich, dass die Flüssigfütterung sehr aufwendig gestaltet ist und der Prozess über den Tag im Schnitt über 15 Stunden läuft.

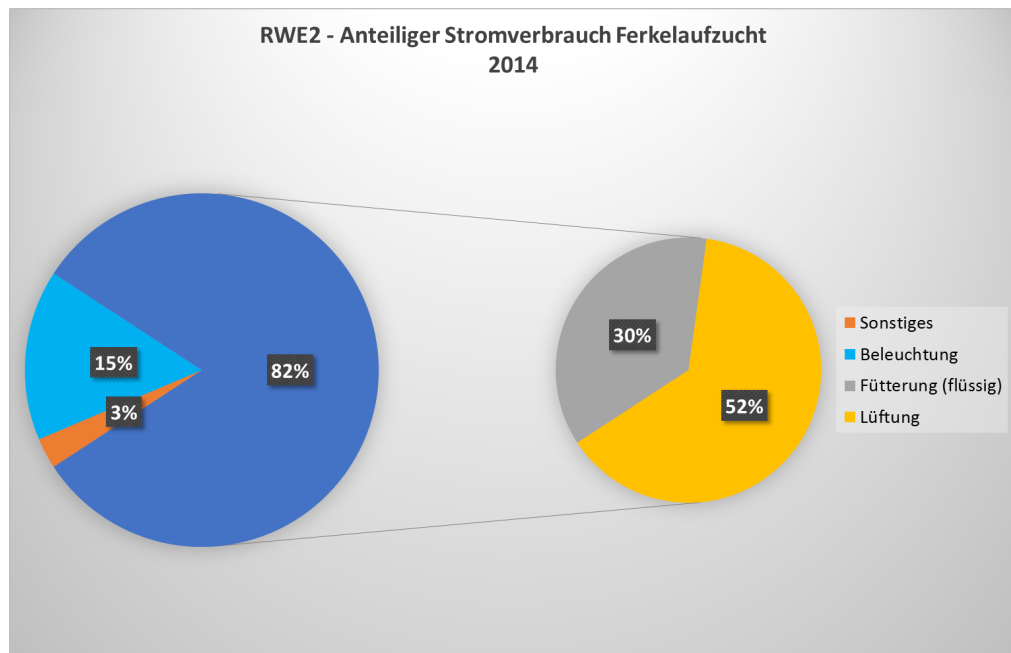


Abbildung 64: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2014

Der Stromverbrauch setzt sich zu 82% aus den Messpunkten Lüftung (52%) und Fütterung (30%) zusammen. Die Beleuchtung hat einen Anteil von 15% und der Messpunkt Sonstiges einen Anteil von 3% am Gesamtverbrauch (24.610 kWh) gehabt. Wobei schon erwähnt wurde, dass der Messpunkt Sonstiges für eine Auswertung nicht geeignet ist und der geringe anteilige Stromverbrauch auf die fehlenden Daten zurückzuführen ist.

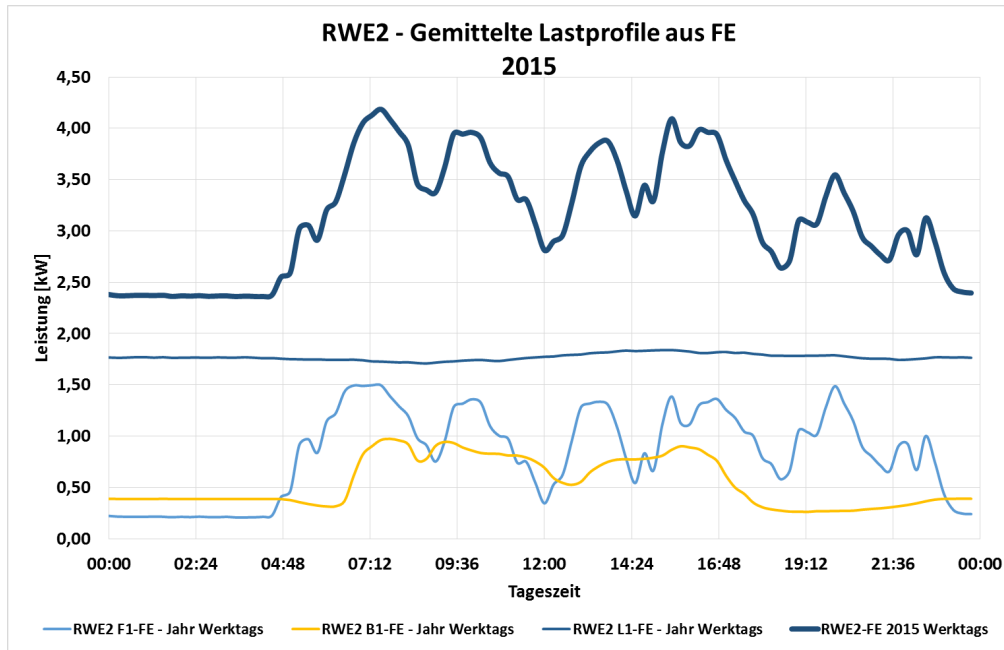


Abbildung 65: RWE2 – Gemittelte Lastprofile aus Ferkelaufzucht 2015

Die gemittelten Tageslastprofile für das Jahr 2015 aus Abbildung 65 zeigen sowohl einen leichten Anstieg der durchschnittlichen Leistung der Lüftung als auch eine über den Tag höhere durchschnittliche Leistungsaufnahme der Fütterungsanlagen. Folglich ist das stallspezifische Tageslastprofil ebenfalls höher. Der im Jahr 2015 zugenommene Stromverbrauch wird dadurch bereits ersichtlich.

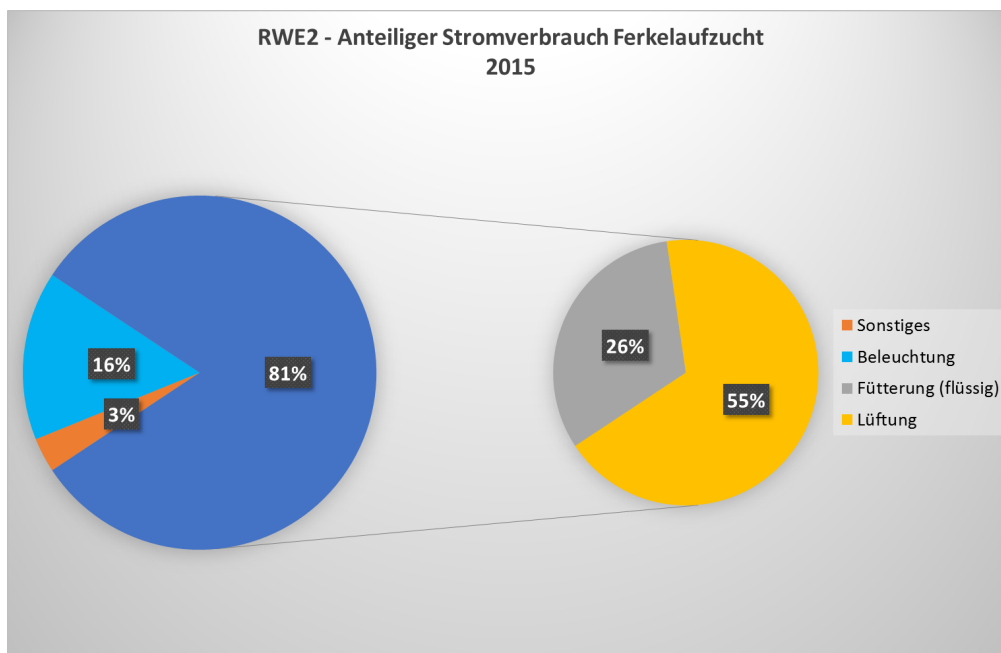


Abbildung 66: RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2015

Der anteilige Stromverbrauch hat sich im Folgejahr nicht wesentlich verändert, Lüftung (55%) und Fütterung (26%) haben mit über 80% nach wie vor den größten Anteil am Gesamtverbrauch (siehe Abbildung 66). Wobei der Anteil der Lüftung um 3% gestiegen und der Anteil der Fütterung um 4% gesunken ist. Der Anteil der Beleuchtung ist um 1% gestiegen und der Messpunkt Sonstiges hat sich nicht verändert. Der Gesamtverbrauch 2015 betrug 28.009 kWh. Das entspricht einem Anstieg von 14%. Für den Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes lässt sich bis hierhin festhalten, dass als wesentliche Messpunkte, deren anteiligen Stromverbräuche am höchsten sind, die Messpunkte Lüftung und Fütterung identifiziert wurden.

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt, können nun energiespezifische Kennzahlen berechnet werden. Dabei werden die elektrischen Verbräuche der jeweiligen Messpunkte im Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes (vgl. Tabelle 6.3) durch die Anzahl der vorhandenen Ferkelplätze geteilt, in diesem Fall 4.120 Tierplätze (vgl. Tabelle 6.23). Durch einen Vergleich mit den erhobenen Energiebedarfskennzahlen der KTBL, die aus Abbildung 32 abgeleitet wurden, können möglicherweise erste Erkenntnisse über die Effizienz der verbauten Komponenten gewonnen werden (siehe Tabelle 6.24).

Tabelle 6.24: RWE2-FE: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

	RWE2 2014 [kWh/TP*a]	RWE2 2015 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	FE	FE	FE
Lüftung	3,1	3,8	9,0
Fütterung (Futterraufbereitung)	1,8	1,8	0,3 (3,4)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	0,9	1,1	3,4
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	0,2	0,2	5,6
Gesamt	6,0	6,8	21,4

Im Vergleich mit den abgeleiteten Kennzahlen der KTBL ist zu sehen, dass die berechneten Kennzahlen des RWE2 Ferkelaufzuchtstalls den erwarteten Bedarf an Energie merklich unterbieten. Vor allem die Lüftung ist herausragend. Wie bereits im Sauenstall des RWE2 Betriebes ist unter Berücksichtigung der Betriebsdaten in Tabelle 6.23 davon auszugehen, dass bei der Abluftführung (Oberflur-Zentralabsaugung) eine strömungsgünstige Varianten verbaut

ist. [16] Zur Zuluftführung sowie zur Kaminbauart des Lüftungssystems sind keine Angaben vorhanden, aber aufgrund der berechneten Kennzahlen und im Vergleich mit den Formeln zur Berechnung des Energiebedarfs eines Lüftungssystems ist davon auszugehen, dass das Lüftungssystem optimal konfiguriert ist. [16] Des Weiteren werden Ventilatoren mit einer frequenzgeregelten Gruppenschaltung eingesetzt, dementsprechend sind hier Effizienzverbesserungen nur durch den Einsatz von Ventilatoren mit EC-Technik (Motoren mit elektrischer Kommutierung) zu erwarten. Die Umrüstung würde gegenüber Frequenztechnik ein Einsparpotential von lediglich 5% (ggf. etwas mehr wenn neuere Ventilatoren mit eigener Regelung eingesetzt würden) ausmachen, daher würde sich beim RWE2 Ferkelaufzuchtstall die Umrüstung ebenfalls nur bei alten oder defekten Ventilatoren lohnen. [18, 19] Bei der Fütterung handelt es sich um ein Flüssigfütterungsverfahren mit einer installierten Gesamtleistung von 19 kW. Wie in Kapitel 6.1.2 und 6.1.3 beschrieben handelt es sich um ein energetisch aufwendiges Verfahren zur Futterversorgung der Tiere. Dennoch liegen die berechneten Kennzahlen unter den abgeleiteten Kennzahlen des KTBL. Auch hier gilt, wie für den Sauenstall des RWE2 Betriebes, dass sich Energieeinsparungen nur durch eine Umrüstung auf das Trockenfütterungsverfahren erzielen ließen. Die Entscheidungsfaktoren zur Systemwahl sind jedoch Betriebsspezifisch abzuwägen. [13, 14, 15] Über das eingesetzte Beleuchtungssystem gehen aus den Betriebsdaten keine Angaben hervor, aber auch hier werden die abgeleiteten Kennzahlen der KTBL unterboten. Die Kennzahlen des Messpunktes Sonstiges, also die Reinigung und Entmistung, haben aufgrund der angesprochenen Problematik keine Aussagekraft, weshalb der Messpunkt im Rahmen dieser Arbeit auch nicht näher untersucht wird.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der Messpunkte Lüftung, Fütterung und Beleuchtung beschrieben und gegebenenfalls Empfehlungen formuliert.

Lüftung

Anhand der Diagramme für 2014 und 2015 sind leichte bis starke jahreszeitliche Schwankung der Leistungsaufnahme zu sehen (siehe Anhang C: RWE2 FE-Lüftung, vgl. Abbildung 125 und Abbildung 126). Interessanterweise hat

der Sommer nicht die höchste durchschnittliche Leistungsaufnahme, sondern die Winterperiode, gefolgt von Frühling, Sommer und Herbst. Im Jahr 2015 ist die durchschnittliche Leistungsaufnahme in allen Perioden leicht angestiegen. Zudem sind gut ausgeregelte Lastverläufe über den Tagesverlauf in der jeweiligen Periode zu erkennen, welche auf die frequenzgeregelte Gruppenschaltung der Ventilatoren zurückzuführen ist. Im Gegensatz zum Sauenstall des RWE2 Betriebes werden im Anhang C: RWE2 FE-Lüftung ausgewählte Mess-tage zur weiteren Visualisierung gezeigt, um die speziellen Unterschiede zwischen Sommer- und Winterperiode darzulegen. Zumal der Energieverbrauch mit der durchschnittlichen Jahrestemperatur abnimmt. Der maximale Verbrauch wurde 2014 im Januar, also im kältesten Monat, gemessen. Auch im Folgejahr sind die Energieverbräuche in der Winter- und Herbstperiode am höchsten. Obwohl die durchschnittliche Jahrestemperatur 2015 gegenüber 2014 um 8 °C kälter war. 2015 sind die geringsten Verbräuche in den Monaten Mai, Juni, Juli, August und September gemessen worden. Wobei sich der September drastisch mit dem geringsten gemessenen Verbrauch im Jahr 2015 abhebt. Wie schon 2014 ist kein Zusammenhang zwischen steigender Temperatur und steigendem Verbrauch zu erkennen (vgl. Abbildung 127 und Abbildung 128). Dies wird besonders anschaulich, wenn den Leistungswerten die entsprechende Temperatur zum Zeitpunkt der Messung zugeordnet wird (vgl. Abbildung 129 und Abbildung 130). Es lassen sich sowohl Datenpunkte höherer Leistung über 2,5 kW zu Temperaturen unter 0° C zuordnen, als auch über 15 °C. In beiden Jahren weisen die Trendlinien ein Bestimmtheitsmaß unter 0,1 auf, demnach gibt es aufgrund der breiten Streuung der Datenpunkte keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen Leistungsaufnahme und der Außentemperatur. Als erster Erklärungsansatz kann der installierte Luft-Luft-Wärmetauscher angeführt werden (siehe Tabelle 6.23). Bei dieser Technik wird die einströmende Luft durch die Abluft des Stalls vorgewärmt. So wird der Bedarf an Heizenergie gesenkt. Dadurch steigt jedoch der Strombedarf der Lüfter. Des Weiteren kann gemutmaßt werden, dass der Tierbestand im Stall in beiden Jahren starken Schwankungen unterlag. Aus den Betriebsdaten geht hervor, dass das Lüftungssystem eine installierte Gesamtleistung von 6 kW hat und aus insgesamt 4 Ventilatoren je 1,5 kW besteht, die über eine Gruppenschaltung frequenzgeregelt werden. Die Auswertung der Messdaten hat

ergeben, dass in 4380 Jahresstunden, also die Hälfte des Jahres die Lüftungsanlage mit 21% bzw. 28% der maximalen Leistung betrieben worden ist (vgl. Abbildung 131 und Abbildung 132). Für 2014 entspricht das 2.128 und für 2015 2.584 Vollaststunden.

In Tabelle 6.25 wird die Auswertung des Messpunktes Lüftung zusammengefasst. Im Schnitt wurden pro Monat 1.000 bis 1.300 kWh verbraucht, der Verbrauch ist gegenüber 2014 um 21% angestiegen.

Tabelle 6.25: RWE2-FE Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 FE Lüftung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	12.765,64	51,87%	18,53%	1.064	3,10
2015	15.505,91	55,36%	19,39%	1.292	3,76

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vorab werden die ersten betriebsspezifischen Erkenntnisse genannt:

- Zentrale Abluftführung durch dezentrale ersetzen, ggf. Baukosten zu hoch jedoch 75% weniger Strombedarf. [16, 17, 18]
- Zuluftführung überprüfen, aufgrund guter Kennzahlen ist evtl. Bauart „Futterganglüftung“ bereits vorhanden. [16]
- Kaminbauart überprüfen, aufgrund guter Kennzahlen ist evtl. Bauart „Einstromdüse und Diffusor“ bereits vorhanden. [16]
- EC-Technik ca. 35% besser als Phasenschnittregelung, jedoch nur 5% (ggf. etwas mehr wenn neuere Ventilatoren mit eigener Regelung eingesetzt würden) gegenüber Frequenztechnik, daher empfiehlt sich hier nur eine Umrüstung auf EC-Technik wenn die Ventilatoren defekt sind oder aufgrund ihres Alters ausgetauscht werden müssen. [16, 18, 19]
- Luft-Luft-Wärmetauscher scheint Stromverbrauch im Sommer zu senken und im Winter zu erhöhen.

Beleuchtung

Aus der saisonalen Aufteilung der Lastgänge geht hervor, dass für diesen Verbraucher im Frühling die höchsten durchschnittlichen Leistungsaufnahmen

zwischen 0,9 und 1,1 kW gemessen wurden. Die einzelnen Perioden weisen einen sehr ähnlichen Lastgang auf, abgesehen vom Frühling. Es sind Schwankungen bzw. Einbrüche nach dem Einschalten und in der Mittagszeit zu erkennen. Sie deuten darauf hin, dass während der Betriebszeit die Leuchtmittel nur in bestimmten Abteilen eingeschaltet sind und zwischendurch Abteile zu- oder wieder abgeschaltet werden. Besonders auffällig ist der konstante Verbrauch außerhalb der Beleuchtungszeit (07:00h bis 19:00h, entspricht einer Beleuchtungsdauer von 12h). Des Weiteren ist zu erkennen, dass unmittelbar nach dem Einschalten die Leistung kurzzeitig, außer in der Herbstperiode, um 0,1 kW fällt. Ein ähnliches Phänomen ist in der Herbstperiode beim Abschaltvorgang zu beobachten, kurzzeitig springt die Leistung unterhalb 0,3 kW, ehe sie wieder auf 0,3 kW ansteigt und relativ konstant bis zum nächsten Morgen verharrt. 2015 liegen die saisonalen Lastprofile deutlicher beisammen und die oben angesprochenen Phänomene während des Ein- und Abschaltens sind noch prägnanter. Der typische Einbruch der Leistung zur Mittagszeit ist ebenfalls zu sehen und erinnert an die gezeigten Profile des Ferkelaufzuchtstalls des RWE1 Betriebes.

Tabelle 6.26: RWE2-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbe-
reichen und Jahresstunden 2015

Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a	Veränderung Vorjahr [%]
-	0 (35)	0,00	0 (9)	-90%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 0,2	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	7190	193,08	1.798	-20%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,2 > 0,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	14635	1.231,03	3.659	4%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,5 > 1	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	9361	1.638,82	2.340	13%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 1 > 1,5	Energie [kWh]	h/a	
05:30 - 20:30	2970	883,31	743	13%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 1,5 > 2	Energie [kWh]	h/a	
06:00 - 18:30	709	300,49	177	51%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 2 > 2,5	Energie [kWh]	h/a	
06:45 - 17:30	100	53,96	25	-12%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 2,5	Energie [kWh]	h/a	
07:00 - 16:30	40	30,51	10	-52%
Summe		4.320,31	8.760	12%

In Tabelle 6.26 sind Leistungsbereiche definiert worden, die zum einen überprüfen wie häufig ein bestimmter Leistungsbereich aufgetreten ist und zum

anderen, wann die Stallbeleuchtung tatsächlich eingeschaltet war. Im Folgenden wird das Ergebnis für 2015 mit den Veränderungen gegenüber 2014 gezeigt. Die Tabelle für das Jahr 2014 befindet sich im Anhang C: RWE2 FE-Beleuchtung, Tabelle 0.3. Sehr beachtenswert ist die Tatsache, dass der Messpunkt zu jedem Zeitpunkt eine Leistung gemessen hat. Die meiste Energie wird im Leistungsbereich zwischen 0,2 und 1,5 kW verbraucht. Spitzenleistungen oberhalb von 2,5 kW sind um 52% zurückgegangen, die gemessene maximale Leistung liegt bei 3,69 kW. Positiv ist zudem ein Rückgang von Fehlwerten um 90%. Wie bereits anhand von Abbildung 67 zu sehen ist, ist der Verbrauch um 12% gestiegen.

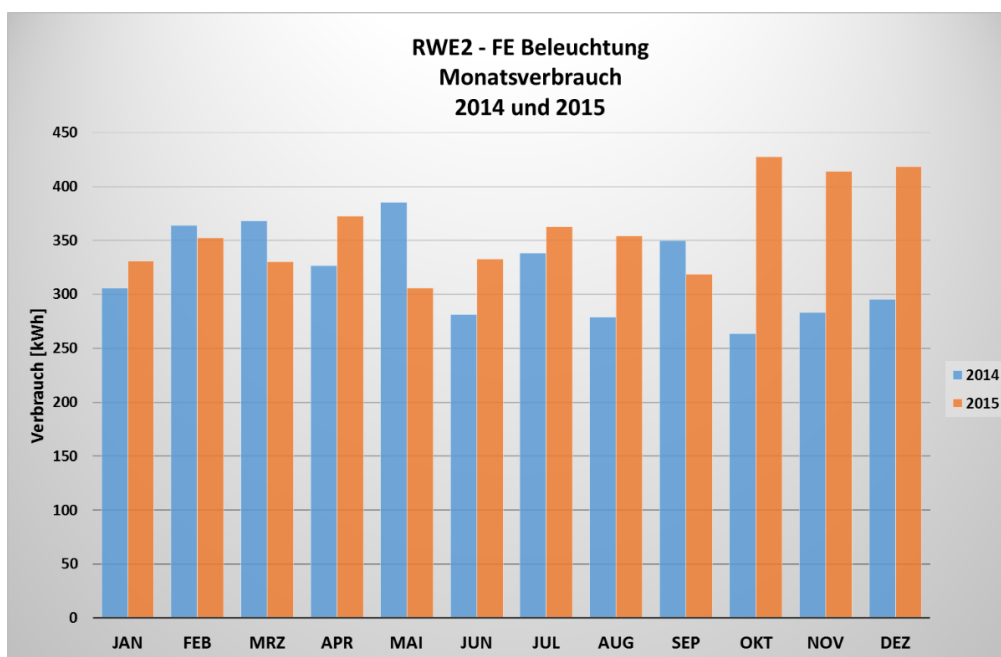


Abbildung 67: RWE2–FE Beleuchtung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Grundsätzlich weist dieser Verbraucher starke Schwankungen im Lastgang auf, welche aus der Betrachtung der Messreihen hervorgehen (siehe Anhang C: RWE2 FE-Beleuchtung). Aufgrund fehlender Betriebsdaten können zur eingesetzten Leuchtmitteltechnik keine Aussagen getroffen werden. Nach dem KTBL Heft 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ und der maximalen gemessenen Leistung sind im Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes 32 Leuchtstoffröhren je 120 Watt installiert. Die nachfolgende Tabelle 6.27 fasst die Ergebnisse der Auswertung dieses Messpunktes zusammen.

Tabelle 6.27: RWE2-FE Beleuchtung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 FE Beleuchtung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	3.841,08	15,61%	5,57%	320	0,93
2015	4.320,31	15,42%	5,40%	360	1,05

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen, wobei hier der Vergleich mit anderen Betrieben aufgrund fehlender Angaben zur Beleuchtungstechnik nicht sinnvoll ist. Vorab werden die ersten betriebsspezifischen Erkenntnisse genannt:

- Überprüfung um welchen tatsächlichen Verbraucher es sich hier an diesem Messpunkt handelt.
- Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,5 kW) in Höhe von 2.702 kWh.
- 2015 Oktober bis Dezember deutlicher Anstieg des Verbrauchs, sonst annähernd gleich, Unterschiede im Verbrauch ggf. durch veränderte bzw. höhere Stallbelegung.
- Keine Empfehlungen möglich.

Fütterung (flüssig)

Entsprechend der Betriebsdaten im Fall vom Betrieb RWE2 Ferkelaufzuchtstall beträgt die installierte Leistung des Fütterungssystems 19 kW. Die Aufteilung der Gesamtleistung ist in Tabelle 6.23 aufgeschlüsselt. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten Komponenten eine Nennleistung von 1,5 kW haben, gestaltet sich die Zuordnung im Vergleich zum Sauenstall des RWE2 Betriebes etwas schwieriger, daher wird in Abbildung 68 lediglich der Lastverlauf am 18.01.2014, ohne Darstellung der Komponenten gezeigt. Im Vergleich mit den gemittelten saisonalen Lastprofilen in Anhang C: RWE2 FE-Fütterung (vgl. Abbildung 135 und Abbildung 136) sind die festen Zeiten des Prozesses gut zu erkennen. In der Regel beginnt die Leistungsaufnahme (Leistungen größer 0,25 kW) um 05:15h und endet erst um 23:15h, wobei 2015 der Fütterungsprozess tendenziell 15 bis 30 Minuten früher begonnen hat.

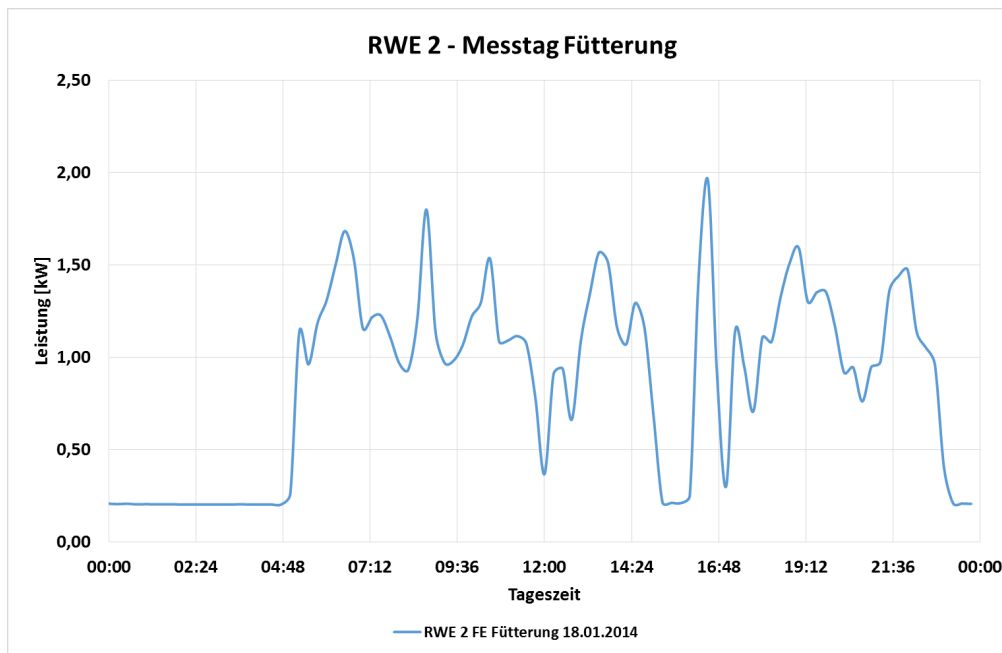


Abbildung 68: RWE2 – FE Fütterung am 18.01.2014

Auch hier wurde in beiden Jahren im Zeitraum 09:00h bis 17:00h ungefähr die Hälfte des gesamten Verbrauchs in diesem Zeitfenster gemessen (2014 2.995 kWh und 2015 3.100 kWh).

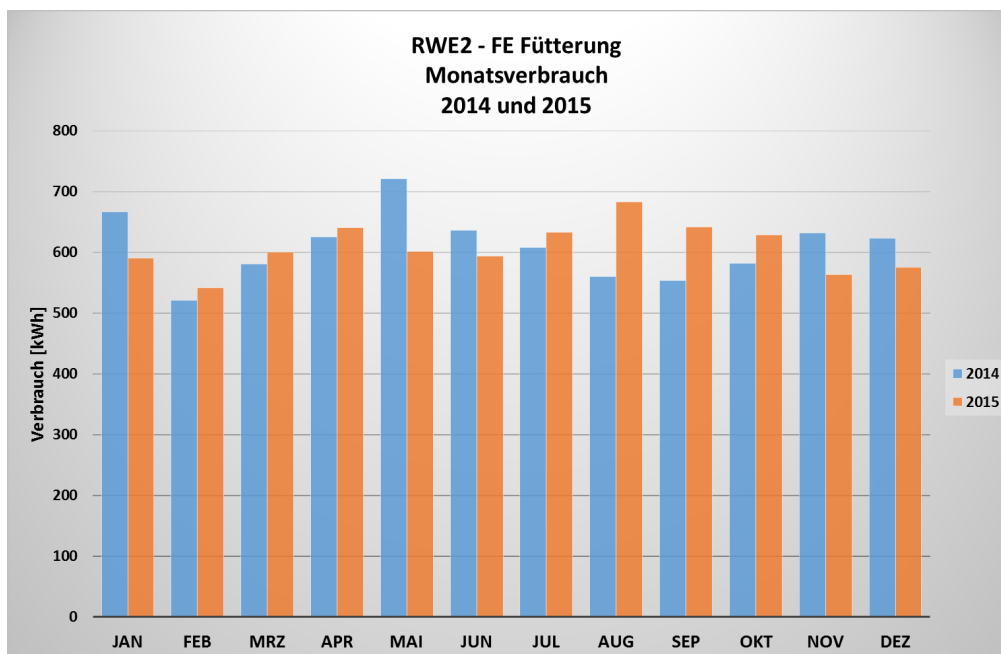


Abbildung 69: RWE2–FE Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Pro Tag werden im Schnitt 20 kWh für die Fütterung benötigt. In jedem Fall ist zu erkennen, dass die Flüssigfütterung deutlich aufwendiger ist, was sich zu guter Letzt auch am benötigten Energieaufwand im Vergleich mit dem Trocken-

fütterungsverfahren ablesen lässt (vgl. Tabelle 6.16 und Tabelle 6.28). Die monatlichen Verbräuche liegen um die 600 kWh (vgl. Abbildung 69 und Tabelle 6.28). Je nach Stallbelegung und Alter variieren die Futterrationen, wodurch es zu natürlichen Schwankungen im Strombezug kommt. Die nachfolgende Tabelle 6.28 fasst die Ergebnisse der Auswertung zusammen. Aufgrund der Angabe zur durchschnittlichen Futtermenge von 1.600 Tonnen (siehe Tabelle 6.23) kann hier die spezifische Kennzahl Wattstunde pro Kilogramm Futtermenge gebildet werden. Nach dem KTBL Heft 105 „Energiebedarf in Schweine- und Hühnerhaltung“ wird der Energiebedarf für die Ferkelerzeugung mit 3,2 Wattstunden pro Kilogramm Futtermenge für ein Flüssigfütterungssystem mit Spiralförderer angegeben. Die für den Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes berechneten Kennzahlen decken sich demnach mit dem zu erwartenden Energiebedarf pro Kilogramm Futter, liegen jedoch um 1,4 Wh/kg Futter darüber (vgl. Tabelle 6.28)

Tabelle 6.28: RWE2-FE Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE2 FE Fütterung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	Wh/ kg	kWh/ TP*a
2014	7.309,38	29,70%	10,61%	609	4,57	1,77
2015	7.293,79	26,04%	9,12%	608	4,56	1,77

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vor allem der Vergleich mit den Trockenfütterungssystemen wird deutlich machen, dass die Flüssigfütterung einen deutlich höheren Energiebedarf vorzuweisen hat. Nun werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst:

- Lastverschiebung ist aufgrund der angesprochenen Merkmale der Flüssigfütterung eher unwahrscheinlich (siehe Kapitel 6.5.2.1).
- Momentaner Fütterungszeitplan ermöglicht eine 42%-Deckung des täglichen Strombedarfs aus Solarstrom (Annahme: Optimaler Zeitraum der Solarstromerzeugung 09:00h bis 17:00h [21]), eine Steigerung bedarf einer konkreten Systemanalyse Vorort.

6.5.3 RWE4 – 2014 und 2015

Die für den RWE4 Betrieb über den Tag auftretenden Leistungsaufnahmen aus Sauenstall und Ferkelaufzucht sind sowohl für das Jahr 2014 und das Jahr 2015 in Abbildung 70 dargestellt. Im weiteren Verlauf wird die Zusammensetzung des Tageslastgangs näher erläutert, während auf die beiden Stallarten in den Kapiteln 6.5.3.1 und 6.5.3.2 explizit eingegangen wird. Zur ersten Einordnung kann jedoch bereits für beide Jahre festgehalten werden, dass die Leistungsaufnahme zwischen 7 und 12 kW im Zeitraum 00:00h bis 05:00h durch die Lüftungsanlagen einschließlich der Fütterungsanlagen in beiden Stallarten bestimmt wird. Im Vergleich mit RWE1 und RWE2 gibt es hier pro Stallart nur zwei Messpunkte, nämlich Lüftung und Fütterung (siehe Tabelle 6.3). Es ist deutlich zu sehen, dass die Leistungsschwankungen (z.B. um kurz vor 12h ist die Leistung bei ca. 14 kW und danach bei ca. 10 kW) durch die Fütterungsanlagen in beiden Stallarten verursacht werden, wobei der kontinuierliche Anstieg der Leistung über den Tag auf die Lüftungsanlagen zurückzuführen ist.

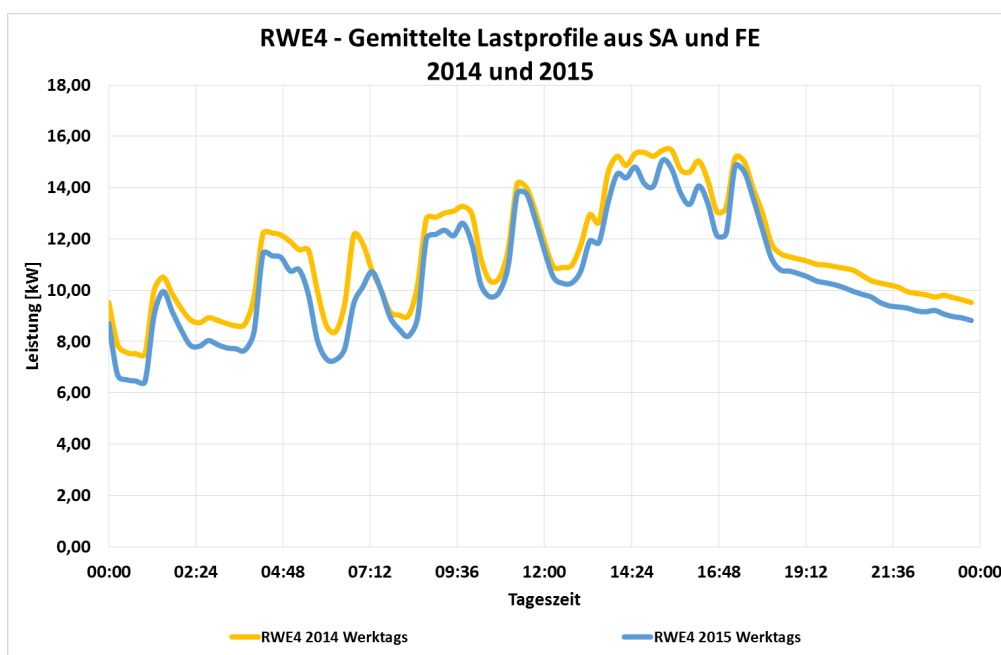


Abbildung 70: RWE4 – Gemitteltes Lastprofil aus Sauen- und Ferkelaufzucht 2014 und 2015

Gegen 19h werden die Fütterungsanlagen abgeschaltet und bedingt durch sinkende Temperaturen die Lüftungsanlagen gedrosselt, wodurch die Leistung zu den Abendstunden auf eine Grundlast von ca. 9 bzw. 10 kW abfällt. Bereits

hier wird ersichtlich, dass im Jahr 2014 mehr Leistung abgerufen wurde. Um weitere Eindrücke vom untersuchten Betrieb RWE4 zu erhalten, sind in Abbildung 71 sowohl die gemessenen Stromverbräuche des gesamten Betriebes im Vergleich 2014 und 2015, als auch der jeweiligen Stallarten dargestellt. Im Jahr 2015 wurde ca. 7% weniger Strom verbraucht. Bei Betrachtung der Stallarten ist erkennbar, dass der Verbrauch im Sauenstall um ca. 12% und in der Ferkelaufzucht um ca. 2% zurückgegangen ist. Die bisherigen Untersuchungen bei RWE1 und RWE2 haben ergeben, dass der Sauenstall energieintensiver ist, beim Betrieb RWE4 weist jedoch die Ferkelaufzucht einen minimal höheren Stromverbrauch auf.

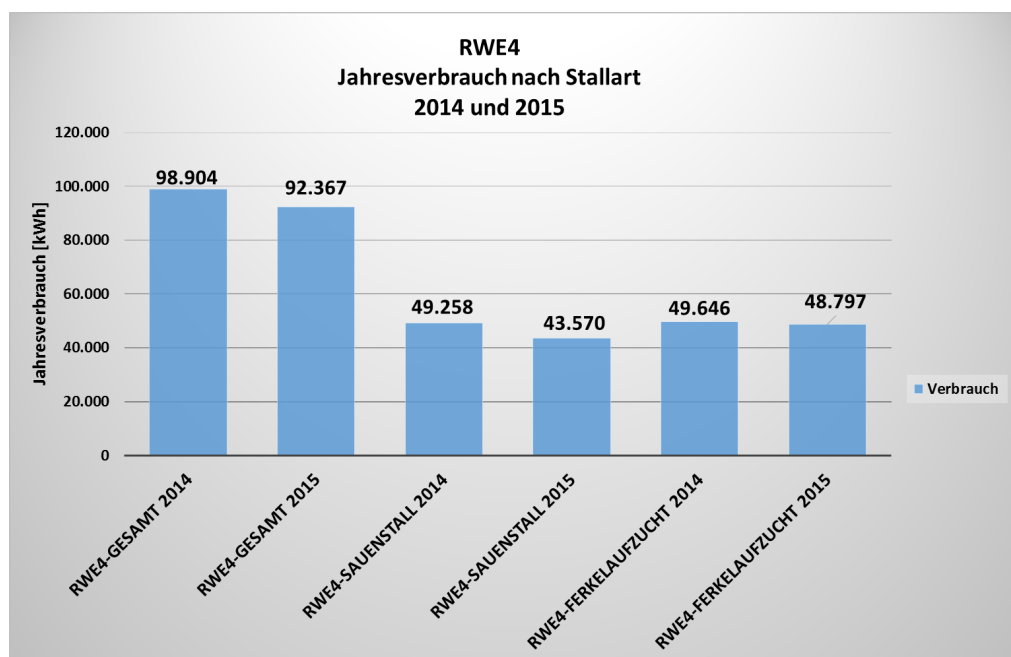


Abbildung 71: RWE4 - Jahresverbrauch nach Stallart 2014 und 2015

Um weitere und vor allem qualitativere Aussagen über den Betrieb RWE4 treffen zu können, werden nun in Kapitel 6.5.3.1 und Kapitel 6.5.3.2 die beiden Stallarten für sich näher untersucht.

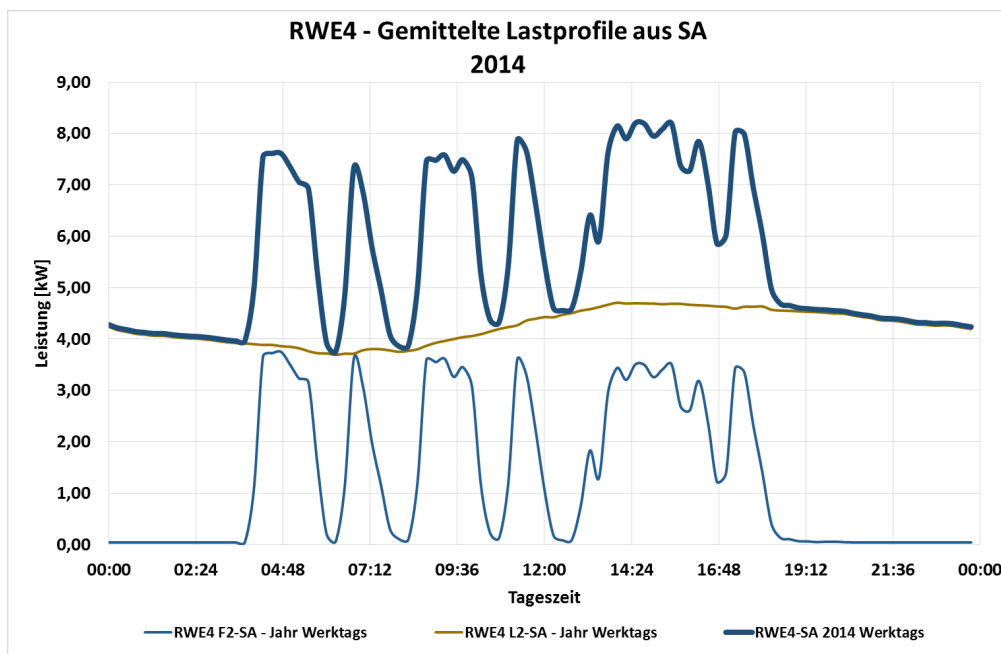
6.5.3.1 RWE4 - Sauenstall

Die im Rahmen der Betriebsdatenerhebung aufgenommenen Angaben über den Sauenstall des RWE4 Betriebes sind in Tabelle 6.29 zusammengefasst. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten RWE-Betrieben sind hier noch nicht alle betriebsspezifischen Daten, die im Zusammenhang mit den Messpunkten stehen, aufgenommen worden. In Anbetracht der festgelegten Messpunkte (vgl. Tabelle 6.3) fehlen weitere Angaben zum Fütterungssystem.

Tabelle 6.29: RWE4 - Betriebsdaten Sauenstall

RWE 4 Sauenstall	
Anzahl Tierplätze	356
Lüftungssystem	Zentralabsaugung; Rieseldecke/-kanal Frequenzregelung über Gruppenschaltung
Leistung Lüftung	6,8 kW + Wäscherpumpe 2,2 kW
Leistung Fütterung (trocken)	wird noch erfasst Druckluftverteilung
Futtermenge	wird noch erfasst

Im Folgenden werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 getrennt dargestellt. Des Weiteren sind nur die Tageslastprofile für die Werktage aufgetragen. An dieser Stelle wird deshalb darauf hingewiesen, dass auch für den Betrieb RWE4 an den Wochenenden identische Verläufe festgestellt wurden, mit dem einzigen Unterschied einer in der Regel etwas geringeren Leistungsaufnahme. In Abbildung 72 sind die gemittelten Tageslastprofile der Fütterung (RWE4 F2-SA) und Lüftung (RWE4 L2-SA) zu sehen.

**Abbildung 72: : RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2014**

Das dunkelblaue Profil ist das addierte stallspezifische Tageslastprofil. Die Grundlast wird durch das Lüftungssystem (RWE4 L2-SA) und die Leistungsschwankungen bzw. Spitzen durch die Fütterungsanlagen bestimmt. Der

Stromverbrauch verteilt sich demnach zu 76% auf den Messpunkt Lüftung und zu 24% auf den Messpunkt Fütterung (siehe Abbildung 73).

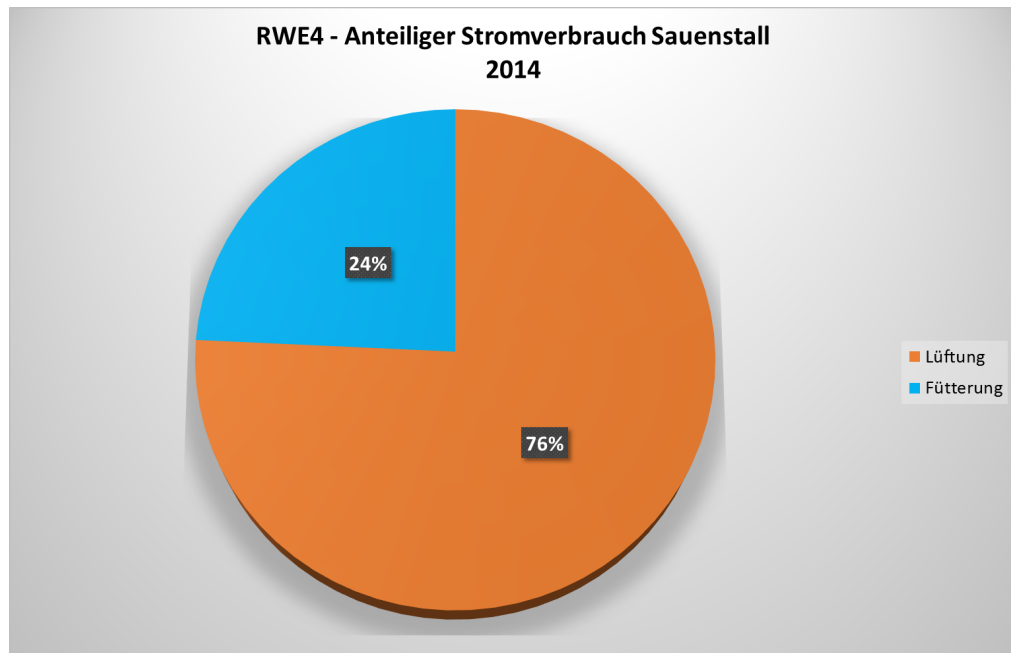


Abbildung 73: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2014

Die gemittelten Tageslastprofile für das Jahr 2015 aus Abbildung 74 zeigen einen geringeren zweiten Leistungspeak der Fütterungsanlagen um 07:12h und eine etwas kleinere durchschnittliche Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen. Ansonsten hat sich der durchschnittliche Leistungsbezug der Fütterungsanlagen etwas erhöht.

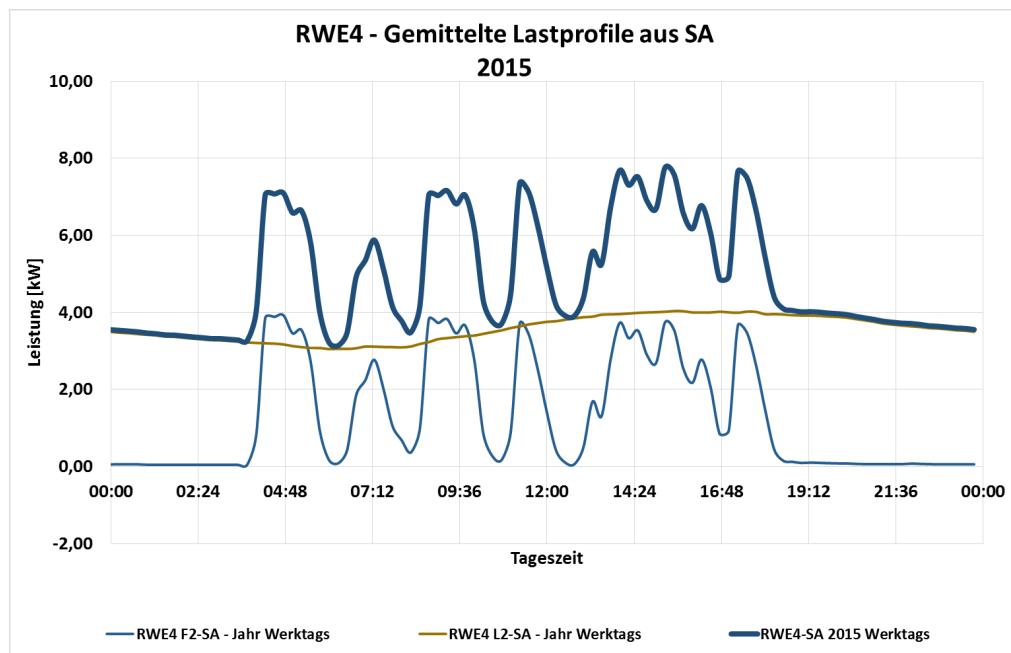


Abbildung 74: RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Sauenhaltung 2015

Der anteilige Stromverbrauch hat sich im Folgejahr verändert, der Anteil der Fütterung ist um 3% gestiegen und der Anteil der Lüftung folglich um 3% gesunken.

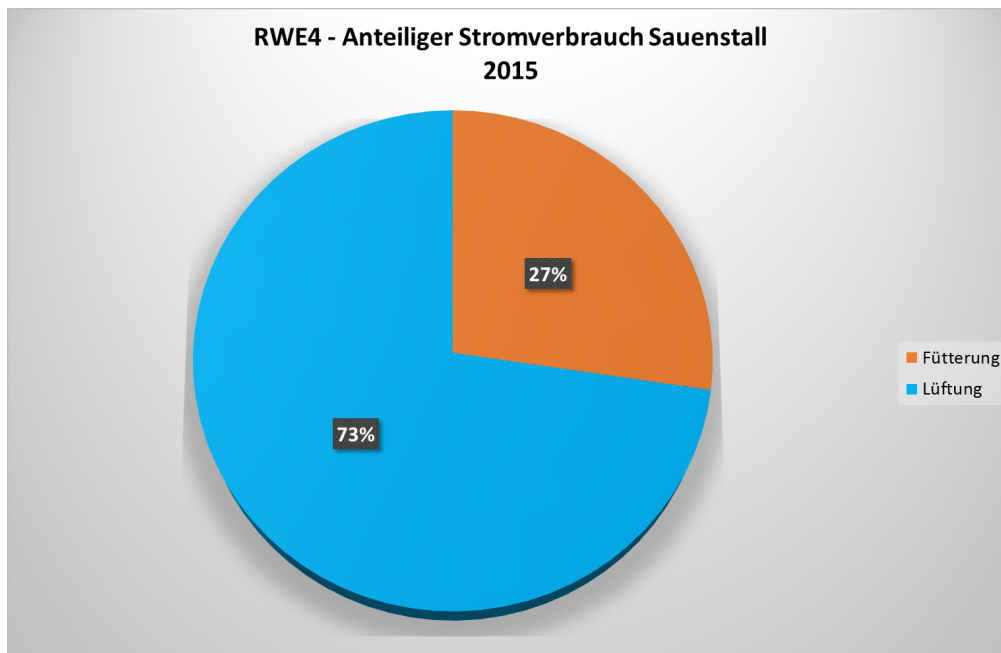


Abbildung 75: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Sauenstall 2015

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt, können nun energiespezifische Kennzahlen berechnet werden. Dabei werden die elektrischen Verbräuche der jeweiligen Messpunkte im Sauenstall des RWE4 Betriebes (vgl. Tabelle 6.3) durch die Anzahl der vorhandenen Tierplätze geteilt, in diesem Fall 356 Sauenplätze (vgl. Tabelle 6.29). Durch einen Vergleich mit den erhobenen Energiebedarfskennzahlen der KTBL, die aus Abbildung 31 abgeleitet wurden, können möglicherweise erste Erkenntnisse über die Effizienz der verbauten Komponenten gewonnen werden. Im Vergleich mit den abgeleiteten Kennzahlen des KTBL ist zu sehen, dass die berechneten Kennzahlen des RWE4 Sauenstalls den erwarteten Bedarf an Energie drastisch übersteigen.

Tabelle 6.30: RWE4-SA: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

	RWE4 2014 [kWh/TP*a]	RWE4 2015 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	SA	SA	SA
Lüftung	104,8	88,9	51,2
Fütterung (Futterraufbereitung)	33,6	33,5	3,4 (20,5)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	-	-	30,7
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-	-	6,8
Gesamt	138,4	122,4	109,2

In den Betriebsdaten in Tabelle 6.29 wird für die Zuluftführung das Prinzip der Rieseldecke bzw. Rieselkanal angegeben. In Anbetracht der Kennzahlen kann davon ausgegangen werden, obwohl bei der Abluftführung (Oberflur-Zentralabsaugung) eine strömungsgünstige Variante verbaut ist, dass das Prinzip Rieseldecke bzw. Rieselkanal aus energetischer Sicht nicht optimal ist. [16] Im Vergleich mit den Formeln zur Berechnung des Energiebedarfs eines Lüftungssystems ist davon auszugehen, dass beim Lüftungssystem durch eine Änderung der Zuluftführung Einsparpotentiale erzielt werden können. [16] Des Weiteren werden Ventilatoren mit einer frequenzgeregelten Gruppenschaltung eingesetzt, dementsprechend sind hier Effizienzverbesserungen nur durch den Einsatz von Ventilatoren mit EC-Technik (Motoren mit elektrischer Kommutierung) zu erwarten. Die Umrüstung würde gegenüber Frequenztechnik ein Einsparpotential von lediglich 5% (ggf. etwas mehr wenn neuere Ventilatoren mit eigener Regelung eingesetzt würden) ausmachen, daher würde sich beim RWE4 Sauenstall die Umrüstung ebenfalls nur bei alten oder defekten Ventilatoren lohnen. [18, 19] Über das Fütterungssystem ist bis auf die Angabe, dass per Druckluft die trockenen Futterrationen verteilt werden, nichts weiter bekannt. Allerdings lässt sich bereits anhand der berechneten Kennzahlen ableiten, dass die Druckluftverteilung eine energieintensive Variante der Futterverteilung darstellt. Demnach würde nur eine Umstellung auf beispielsweise Spiralförderer oder Kettenförderer energetische Verbesserungen hervorrufen. Dennoch bietet es sich an, aufgrund der gezeigten Lastprofile in Abbildung 72 und Abbildung 74, zu überprüfen, ob der tägliche Fütterungsprozess in Zeiten mit hohem Solarstromertrag durchgeführt werden kann.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der Messpunkte Lüftung und Fütterung beschrieben und gegebenenfalls Empfehlungen formuliert.

Lüftung

Aufgrund der zu erwartenden Temperaturabhängigkeit empfiehlt sich die Aufteilung der Lastprofile in Perioden (siehe Anhang D: RWE4 SA-Lüftung, vgl. Abbildung 137 und Abbildung 138). Anhand der Diagramme für 2014 und 2015 ist die jahreszeitliche Schwankung der Leistungsaufnahme deutlich zu erkennen. Die Sommerperiode hat die höchste durchschnittliche Leistungsaufnahme. 2015 ist die Herbstperiode deutlich unterhalb der Sommerperiode und näher an den anderen Perioden. Der Energieverbrauch nimmt mit zunehmender Jahrestemperatur zu, wobei der Herbstzeitraum in 2015 eine höhere durchschnittliche Außentemperatur hatte (vgl. Abbildung 139 und Abbildung 140). Auffällig sind vor allem der Juni, August und September im Jahr 2014. Aus den Betriebsdaten geht hervor, dass es in den Sommermonaten Probleme mit dem Wäscher (verschmutzter Tropfenabscheider) gegeben hat, die Aussage dient daher als Erklärungsansatz für den zu verzeichnenden Mehrverbrauch. Nichts desto trotz ist die durchschnittliche Außentemperatur um 11 °C kälter gewesen. Die Korrelation zur Außentemperatur wurde durch ein weiteres Diagramm für beide Jahre, in dem jeder gemessenen Leistung ein Temperaturwert zum jeweiligen Messzeitpunkt zugewiesen wurde, weiter beleuchtet. Die eingezeichneten exponentiellen Trendlinien weisen in beiden Jahren ein Bestimmtheitsmaß von über 0,7 auf. Im Vergleich mit allen anderen RWE Betrieben wird hier die Korrelation zur Außentemperatur am deutlichsten (vgl. Abbildung 141 und Abbildung 142). Die angesprochene Problematik mit dem Wäscher ist anhand dieses Diagramms ebenfalls zu erkennen. Oberhalb von 8 an der 9 kW Grenze auf der y-Achse und auf der x-Achse zwischen 12 und 23° C, lassen sich diese Ausreißer damit in Verbindung bringen, da die Datenpunkte genau in dem Sommerzeitraum gemessen wurden. Des Weiteren hat die Auswertung der Messdaten ergeben, dass die Lüftungsanlagen bei einer installierten Gesamtleistung von 9 kW (inklusive des Wäschers) die Hälfte des Jahres, also 2014 und im Folgejahr, mit 32 bzw. mit 35% der installierten Gesamtleistung betrieben worden ist.

Zum Abschluss fasst Tabelle 6.31 die qualitative Auswertung des Messpunktes Lüftung zusammen. Es wurde bereits erwähnt, dass 2015 durchschnittlich um 11 °C kälter gewesen ist und es 2014 Probleme mit dem Wäscher gegeben hat, womöglich ist das einer der Gründe für einen Rückgang des Verbrauchs um 18% im Folgejahr. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass sich aufgrund der zentralen Abluftführung in Kombination mit dem installierten Wäscher der Bedarf an Strom zusätzlich erhöht, da die Luftwiderstände steigen und daher höhere Leistungen aufgenommen werden müssen, um den zugenommenen Widerstand zu überwinden. Des Weiteren geht aus den Betriebsdaten hervor, dass die Füllkörperhöhe des Wäschers von 24 auf 12cm reduziert wurde, wodurch sich Tierplatz-bezogene Kennzahl für 2015 ebenfalls verbessert.

Tabelle 6.31: RWE4-SA Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE4 SA Lüftung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	37.310,17	75,74%	37,72%	3.109	104,80
2015	31.643,75	72,63%	34,26%	2.637	88,89

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen.

Vorab werden die ersten betriebsspezifischen Erkenntnisse genannt:

- Regelmäßige Wartung und Reinigung der Lüftungsanlage inklusive Wäscher.
- Zentrale Abluftführung durch dezentrale ersetzen, ggf. Baukosten zu hoch jedoch 75% weniger Strombedarf, ggf. kann dann der Wäscher aber nicht mehr betrieben werden. [16, 17, 18]
- Kaminbauart überprüfen, aufgrund der Kennzahlen können durch die Bauart „Einstromdüse und Diffusor“ weitere Einsparpotentiale erzielt werden. [16, 18]
- EC-Technik ca. 35% besser als Phasenschnittregelung, jedoch nur 5% (ggf. etwas mehr wenn neuere Ventilatoren mit eigener Regelung eingesetzt würden) gegenüber Frequenztechnik, daher empfiehlt sich hier

nur eine Umrüstung auf EC-Technik wenn die Ventilatoren defekt sind oder aufgrund ihres Alters ausgetauscht werden müssen. [16, 18, 19]

- Rieseldecke als Zuluftführung für hohen Strombedarf verantwortlich, nach der Berechnung des Energiebedarf nach KTBL Heft 105 für folgende Konfiguration des Lüftungssystems ergeben sich folgende Werte:
 - Zuluftführung: Rieseldecke 1,33 oder 1,60
 - Abluftführung: Oberflur-Zentral 1,75
 - Kaminbauart: Einströmdüse und Diffusor 1,00
 - Aus der durchschnittlichen jährlichen Lufrate ($155 \text{ m}^3/\text{TP}^*\text{a}$), spezifischer Leistungsaufnahme der Ventilatoren ($28 \text{ Wh}/1000\text{m}^3$) ohne Zuschlagsfaktoren $38,52 \text{ kWh}/\text{TP}^*\text{a}$, mit angeführten Zuschlagsfaktoren multipliziert $89,7 \text{ kWh}/\text{TP}^*\text{a}$ bzw. $107,9 \text{ kWh}/\text{TP}^*\text{a}$
- Vereinzelte Lastspitzen konnten in Messreihen festgestellt werden, allerdings nicht so gravierend wie bei RWE1, dennoch empfiehlt es sich die Regelung mittels Klimacomputer ggf. anzupassen um Spitzen zu vermeiden (siehe Anhang D: RWE4 SA-Lüftung).

Fütterung (trocken)

Die Grundlagen der Fütterung wurden in Kapitel 6.1.2 und über die Trockenfütterung im speziellen in Kapitel 6.1.3 beschrieben, wobei beim Sauenstall des RWE4 Betriebes die Druckluftverteilung die herauszustellende Besonderheit darstellt. Die Untersuchung dieses Messpunktes hat keine wesentlichen Unterschiede zwischen Werktagen und Wochenenden festgestellt. Auch saisonal gibt es keine Abhängigkeiten, beispielsweise zur Außentemperatur (siehe Anhang D: RWE4 SA-Fütterung, vgl. Abbildung 145 und Abbildung 146). Das Fütterungssystem wird zu festgelegten Zeiten eingeschaltet. Aufgrund der ausreichenden Aussagekraft der gemittelten saisonalen Tageslastprofile wird auf ausgewählte Messreihen im Anhang verzichtet. In den Lastprofilen für beide Jahre sind insgesamt sechs signifikante Peaks zu sehen, die sich in der Dauer ihres Auftretens minimal unterscheiden. Die Zeiträume sind jedoch relativ gleich. Der erste Peak im Zeitraum 04:00h bis 06:00h, in einem Leistungsbereich zwischen 3,5 und 4,2 kW. Der zweite Peak im Zeitraum

06:30h bis 07:30h, der Leistungsbereich liegt zwischen 2,7 und 3,8 kW. Der dritte Peak befindet sich im Zeitraum 08:15h bis 10:45h und im Leistungsbereich zwischen 3,4 und 4,1 kW. Es ist eine gewisse Ähnlichkeit zum ersten Peak zu erkennen. Der vierte Peak im Zeitraum 11:00h bis 12:30h ähnelt hingegen dem zweiten Peak und bewegt sich im gleichen Leistungsbereich. Der fünfte Peak beginnt gegen 13:00h und endet gegen 16:45h, die Leistung schwankt zwischen 3 und 3,6 kW. Auch hier besteht eine gewisse Ähnlichkeit zum ersten und dritten Peak. Der letzte Peak wiederum erinnert erneut an Peak zwei und vier. Er tritt im Zeitraum 16:45h bis 18:30h auf und hat einen Leistungsbereich zwischen 3,3 und 3,9 kW. Die maximal gemessene Leistung lag bei 4,9 kW. Genaue Angaben zur installierten Leistung und zu den einzelnen Komponenten sind nicht bekannt. Anhand der Lastprofile kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die beschriebenen sechs Peaks sich unterteilen lassen in Futteraufbereitung (Mahlen und Mischen) und Futterförderung bzw. Futtervorlage. Demnach wird den Tieren dreimal am Tag vorgelegt. Aufgrund der Tatsache, dass die Futtermengen nicht bekannt sind, kann nicht auf den Energieeinsatz pro t Futter geschlossen werden. Dies wiederum würde eine erste Einschätzung über das eingesetzte Fördersystem (Druckluftverteilung bzw. pneumatische Verteilung) ermöglichen. Der Stromverbrauch ist in beiden Jahren annähernd konstant geblieben, die aufgetretenen Schwankungen sind auf die Stallbelegung, sowie das Alter und Gewicht der Tiere zurückzuführen, da sich die zu fördernde Futtermenge nach diesen Kriterien richtet (siehe Abbildung 76). Pro Tag werden ca. 32 kWh Strom benötigt.

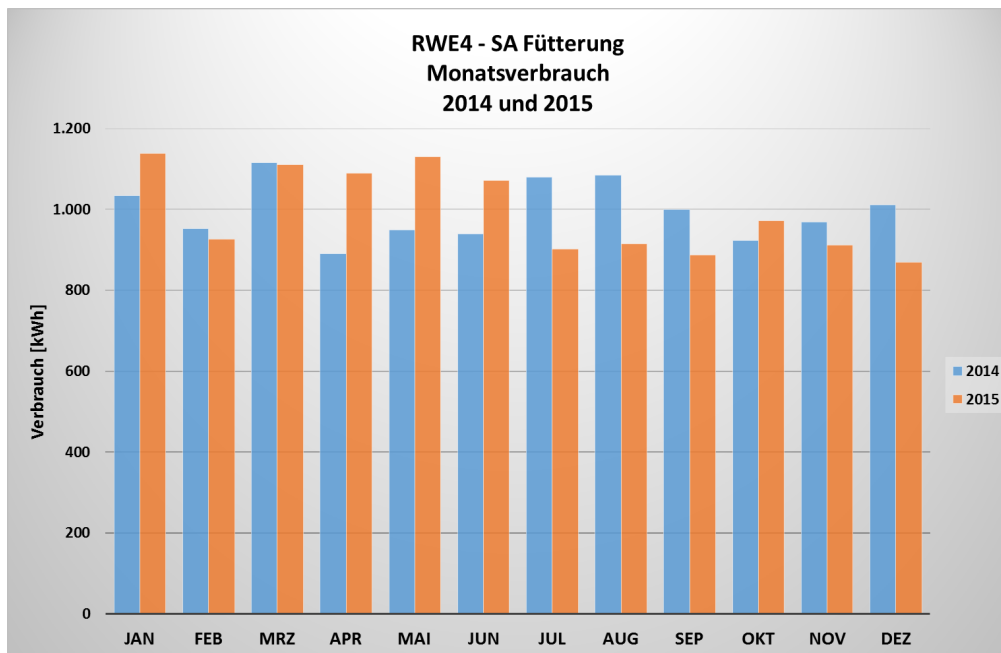


Abbildung 76: RWE4–SA Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Die Tabelle 6.32 fasst die wesentlichen Ergebnisse der qualitativen Auswertung zusammen. Trotz der monatlichen Schwankungen ist der Stromverbrauch in beiden Jahren bis auf wenige kWh identisch. Es werden im Monat ca. 1.000 kWh für die Fütterungsanlagen benötigt.

Tabelle 6.32: RWE1-SA Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE4 SA Fütterung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/ Monat	kWh/ TP*a
2014	11.947,66	24,26%	12,08%	996	33,56
2015	11.926,15	27,37%	12,91%	994	33,50

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vor allem der Vergleich mit den Trockenfütterungssystemen, die keine pneumatische Verteilung aufweisen, wird deutlich machen, dass aus energetischer Sicht die Verteilung mit Spiral- oder Kettenförderersystemen im Vorteil sind. Vorab werden die ersten Erkenntnisse und Empfehlungen genannt:

- Prüfen ob Peak1 (04:00h bis 06:00h) die Futteraufbereitung (Entnahme des Trockenfutters aus dem Lagerbehälter und anschließende Aufbereitung einer Trockenfuttermischung in Mischbehälter) beinhaltet, wenn ja, prüfen ob durch zusätzliche Lagermöglichkeiten die Futtermittelvorbereitung für den gesamten Tag in die Sonnenzeit verschoben werden kann.

Ermitteltes Lastverschiebepotential für beide Jahre von ca. 2.100 kWh pro Jahr (Annahme: Optimaler Zeitraum für Solarstromausnutzung 09:00h bis 17:00h [21])

- 2014 wurden 6.939 kWh und 2015 6.859 kWh, also ca. 58% der benötigten Energie im Zeitraum 09:00h bis 17:00h verbraucht.
- Für weitere Aussagen werden weitere Angaben zum Fütterungssystem benötigt.

6.5.3.2 RWE4 – Ferkelaufzuchtstall

Wie schon bereits beim Sauenstall des RWE4 Betriebes, sind im Rahmen der Betriebsdatenerhebung noch nicht alle betriebsspezifischen Daten, die im Zusammenhang mit den Messpunkten stehen, aufgenommen worden. In Anbetracht der festgelegten Messpunkte (vgl. Tabelle 6.3) fehlen weitere Angaben zum Fütterungssystem. Die bisher erhobenen Angaben zum Ferkelaufzuchtstall des RWE4 Betriebes sind in Tabelle 6.33 festgehalten.

Tabelle 6.33: RWE4 - Betriebsdaten Ferkelaufzucht

RWE 4 Ferkelaufzucht	
Anzahl Tierplätze	4.500
Lüftungssystem	Zentralabsaugung; Ganglüftung Frequenzregelung über Gruppenschaltung
Leistung Lüftung	10,2 kW (6 x 1,7 kW)
Leistung Fütterung (trocken)	wird noch erfasst Druckluftverteilung
Futtermenge	wird noch erfasst

Im Folgenden werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die Tageslastprofile für die Jahre 2014 und 2015 getrennt dargestellt. Des Weiteren sind nur die Tageslastprofile für die Werktage aufgetragen. An dieser Stelle wird deshalb darauf hingewiesen, dass auch für den Betrieb RWE4 an den Wochenenden identische Verläufe festgestellt wurden, mit dem einzigen Unterschied einer in der Regel etwas geringeren Leistungsaufnahme. In Abbildung 77 sind die gemittelten Tageslastprofile der Fütterung (RWE4 F1-FE) und Lüftung (RWE4 L1-FE) zu sehen. Das dunkelblaue Profil ist das addierte stallspezifische Tageslastprofil. Die Grundlast wird durch das Lüftungssystem (RWE4 L1-FE) und die Leistungsspitze in der Nacht, sowie die über den Tag gezackte Leistungszunahme, durch die Fütterungsanlagen bestimmt.

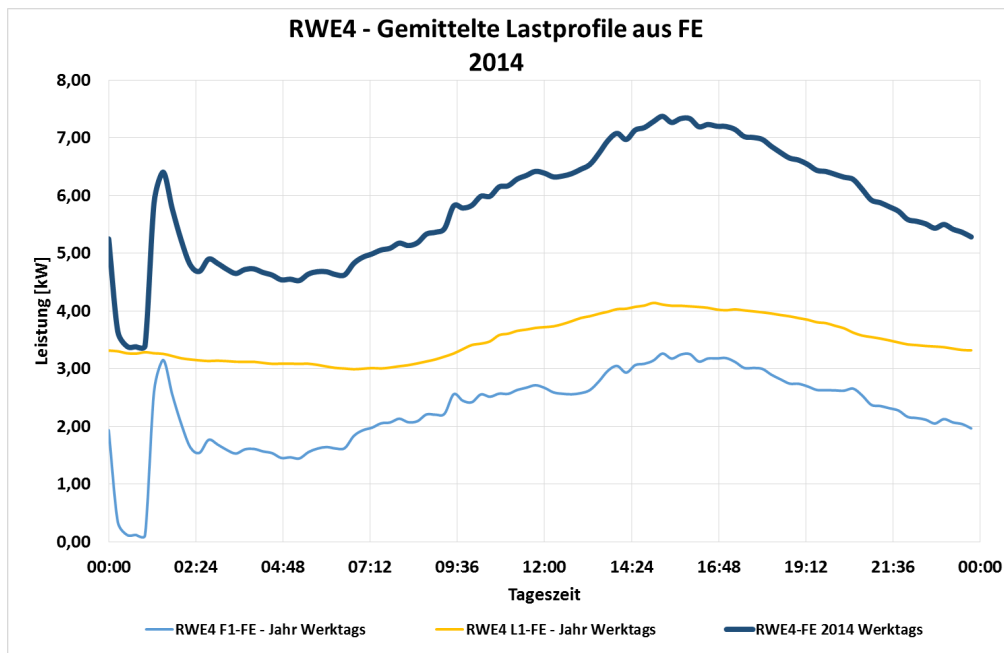


Abbildung 77: RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Ferkelaufzucht 2014

Der Stromverbrauch verteilt sich demnach zu 61% auf den Messpunkt Lüftung und zu 39% auf den Messpunkt Fütterung (siehe Abbildung 78).

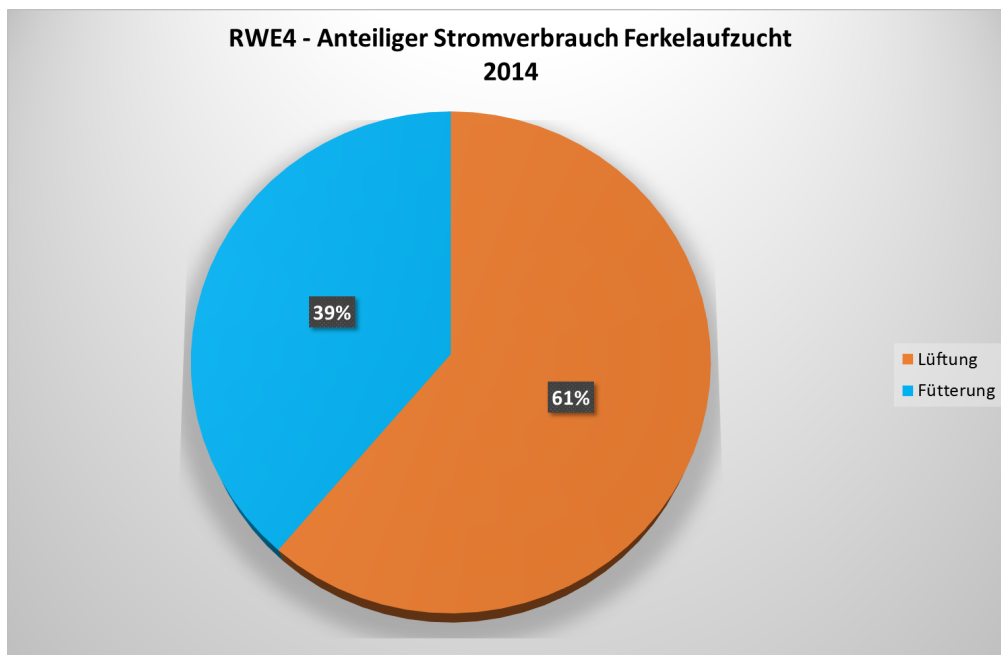


Abbildung 78: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2014

Die gemittelten Tageslastprofile für das Jahr 2015 aus Abbildung 79 zeigen höhere Leistungsaufnahmen der Fütterungsanlagen (RWE4 F1-FE) und eine etwas geringere Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen (RWE4 L1-FE).

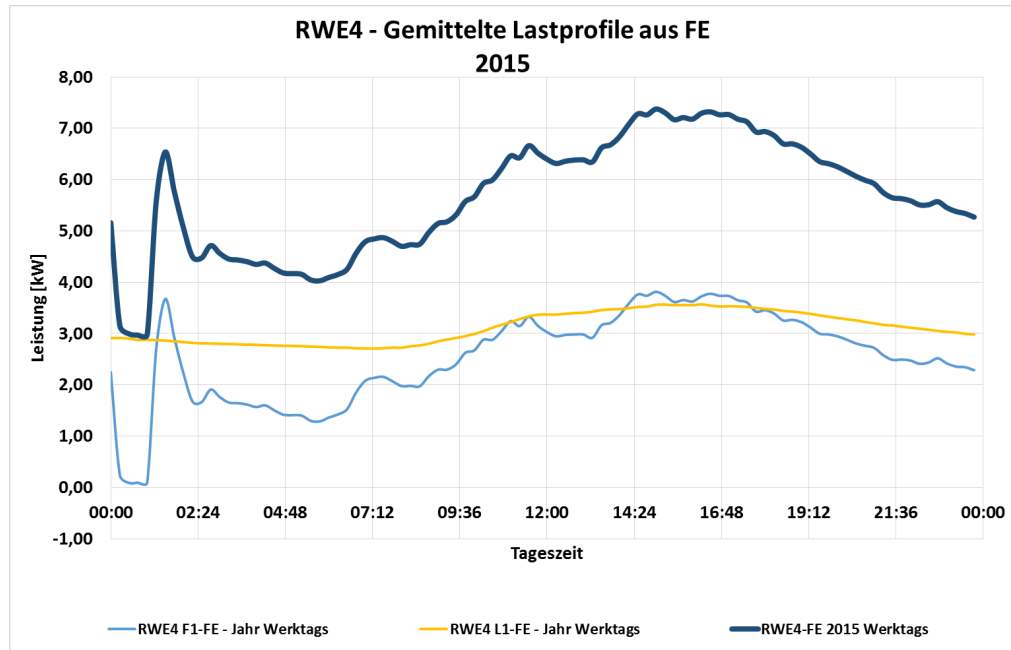


Abbildung 79: RWE4– Gemittelte Tageslastprofile aus Ferkelaufzucht 2015

Im Folgejahr hat sich der anteilige Stromverbrauch verändert, der Anteil der Fütterung ist um 5% gestiegen und der Anteil der Lüftung folglich um 5% gesunken.

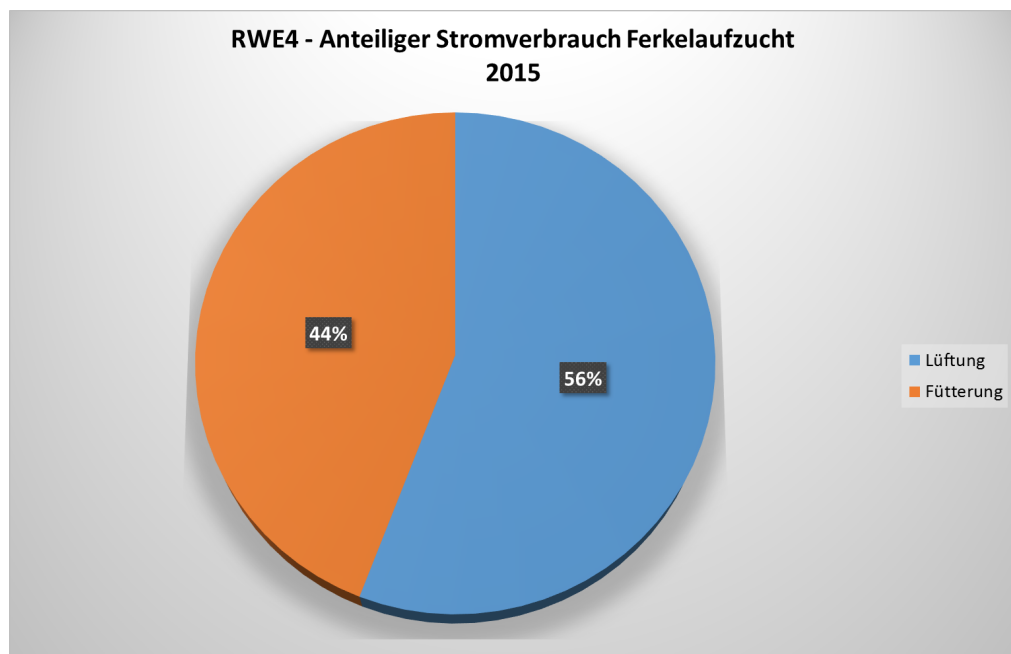


Abbildung 80: RWE4 - Anteiliger Stromverbrauch Ferkelaufzucht 2015

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt, können nun energiespezifische Kennzahlen berechnet werden. Dabei werden die elektrischen Verbräuche der Messpunkte im Ferkelaufzuchtstall des RWE4 Betriebes durch die Anzahl der vorhandenen Tierplätze geteilt, in diesem Fall 4.500 Ferkelplätze (vgl. Tabelle 6.33).

Tabelle 6.34: RWE4-FE: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

	RWE4 2014 [kWh/TP*a]	RWE4 2015 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	FE	FE	FE
Lüftung	6,8	6,1	9,0
Fütterung (Futtermittelzubereitung)	4,3	4,8	0,3 (3,4)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	-		3,4
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-		5,6
Gesamt	11,0	10,9	21,4

Durch einen Vergleich mit den erhobenen Energiebedarfskennzahlen der KTBL, die aus Abbildung 32 abgeleitet wurden, können möglicherweise erste Erkenntnisse über die Effizienz der verbauten Komponenten gewonnen werden. Im Vergleich mit den abgeleiteten Kennzahlen des KTBL ist zu sehen, dass die berechneten Kennzahlen des RWE4 Ferkelaufzuchtstalls den erwarteten Bedarf an Energie für die Lüftung unterbietet und der Fütterung leicht übersteigt (siehe Tabelle 6.34). Im Gegensatz zum Sauenstall des RWE4 Betriebes und unter Berücksichtigung der Betriebsdaten in Tabelle 6.33, ist davon auszugehen, dass sowohl bei der Abluftführung (Oberflur-Zentralabsaugung) als auch der Zuluftführung (Futterganglüftung) strömungsgünstige Varianten verbaut sind. [16] Zur Kaminbauart des Lüftungssystems sind keine Angaben vorhanden, aber aufgrund der berechneten Kennzahlen und im Vergleich mit den Formeln zur Berechnung des Energiebedarfs eines Lüftungssystems ist davon auszugehen, dass das Lüftungssystem optimal konfiguriert ist. [16] Des Weiteren werden Ventilatoren mit einer frequenzgeregelten Gruppenschaltung eingesetzt, dementsprechend sind hier Effizienzverbesserungen nur durch den Einsatz von Ventilatoren mit EC-Technik (Motoren mit elektrischer Kommutierung) zu erwarten. Die Umrüstung würde gegenüber Frequenztechnik ein Einsparpotential von lediglich 5% (ggf. etwas mehr wenn neuere Ventilatoren mit eigener Regelung eingesetzt würden) ausmachen, daher würde sich beim RWE4 Ferkelaufzuchtstall die Umrüstung ebenfalls nur bei alten oder defekten Ventilatoren lohnen. [18, 19] Bei der Fütterung handelt es um ein Trockenfütterungsverfahren mit Druckluftverteilung, weitere Angaben sind nicht bekannt. Allerdings lässt sich bereits anhand der berechneten

Kennzahlen ableiten, dass die Druckluftverteilung eine energieintensive Variante der Futterverteilung darstellt. Demnach würde nur eine Umstellung auf beispielweise Spiralförderer oder Seilförderer energetische Verbesserungen bringen. Anhand der gezeigten Lastprofile in Abbildung 77 und Abbildung 79 kann jedoch davon ausgegangen werden, dass aufgrund des hohen Leistungsanstieges in der Nacht (um ca. 01:00h) Mahl- und Mischprozesse sowie das Fördern in Lagerbehälter, aus denen das Futter für die eigentliche Fütterung entnommen wird, auftreten. Wie schon für die beiden Sauenställe der RWE1 und RWE4 Betriebe erwähnt, bietet es sich an zu überprüfen, ob der tägliche Futteraufbereitungsprozess in Zeiten mit hohem Solarstromertrag durchgeführt werden kann. Obwohl davon ausgegangen werden kann, dass günstige Nachstromtarife für die ersten Phase des Fütterungsprozess genutzt werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung der Messpunkte Lüftung und Fütterung beschrieben und gegebenenfalls Empfehlungen formuliert.

Lüftung

Anhand der gemittelten saisonalen Tageslastprofile für 2014 und 2015 sind leichte bis starke Schwankungen zwischen den Jahreszeiten zu erkennen, wobei die Sommerperiode die höchste durchschnittliche Leistungsaufnahme hat. Im Jahr 2015 war die durchschnittliche maximale Leistungsaufnahme in allen Perioden etwas geringer (siehe Anhang D: RWE4 FE-Lüftung, vgl. Abbildung 147 und Abbildung 148). Der Energieverbrauch nimmt mit der durchschnittlichen Jahrestemperatur zu. In 2014 war der maximale Verbrauch im Juli. Auffällig ist vor allem der September. Ein Erklärungsansatz für den zu verzeichnenden Mehrverbrauch konnte bisher nicht gefunden werden, allerdings war der September ein verhältnismäßig warmer Monat war, in 363 von 720 Stunden lag die Außentemperatur über 15 °C. Im Folgejahr fallen die Monate Juli und August durch einen ungewöhnlich hohen Stromverbrauch auf. Aus den Betriebsdaten geht hervor, dass der Mehrverbrauch der Lüftung in den Sommermonaten vermutlich durch defekte Lüfter verursacht wurde. Ansonsten ist für 2015 zu sehen, dass in den Frühlingsmonaten April und Mai im Vergleich zum letzten Jahr deutlich weniger Energie verbraucht wurde und kein Anstieg einhergehend mit der Außentemperatur zu verzeichnen ist (siehe Anhang D:

RWE4 FE-Lüftung, vgl. Abbildung 149 und Abbildung 150). Die Korrelation zur Außentemperatur wurde durch ein weiteres Diagramm für beide Jahre, in dem jeder gemessenen Leistung ein Temperaturwert zum jeweiligen Messzeitpunkt zugewiesen wurde, weiter beleuchtet. Die angesprochene Problematik (defekter Lüfter im Jahr 2015) ist anhand dieses Diagramms ebenfalls zu erkennen. Die Datenpunkte oberhalb von 7kW und zwischen 0 und 15 °C lassen sich eindeutig den Sommermonaten Juni, Juli und August zuordnen. Dementsprechend lässt sich die Aussage aus den Betriebsdaten verifizieren. Hinzu kommen die Datenpunkte unterhalb 1 kW und zwischen -2 und 10 °C, die sich den Monaten Januar, November und Dezember zuordnen lassen. Konkrete Erklärungsansätze konnten bisher noch nicht gefunden werden. Durch diese Ausreißer hat die exponentielle Trendlinie für 2015 ein geringeres Bestimmtheitsmaß (0,5307 zu 0,6685) als im Jahr zuvor (siehe Anhang D: RWE4 FE-Lüftung, vgl. Abbildung 151 und Abbildung 152). Des Weiteren hat die Auswertung der Messdaten ergeben, dass die Lüftungsanlagen bei einer installierten Gesamtleistung von 10,2 kW (6 x 1,7 kW) die Hälfte des Jahres, also 2014 mit 26% und im Folgejahr mit 21% der installierten Gesamtleistung betrieben wurden.

Zum Abschluss fasst Tabelle 6.35 die qualitativere Auswertung des Messpunktes Lüftung zusammen. Trotz der angesprochenen Problematik mit defekten Lüftern ist der Verbrauch um 10% zurückgegangen. Wobei das Jahr 2015 durchschnittlich um 11 °C kälter gewesen ist.

Tabelle 6.35: RWE4-FE Lüftung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE4 FE Lüftung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/Monat	kWh/TP*a
2014	30.390,76	61,21%	30,73%	2.533	6,75
2015	27.234,25	55,81%	29,48%	2.270	6,05

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vorab werden die ersten betriebsspezifischen Erkenntnisse genannt:

- Regelmäßige Kontrolle, Wartung und Reinigung der Lüftungsanlage
- Zentrale Abluftführung durch dezentrale ersetzen, ggf. Baukosten zu hoch, jedoch 75% weniger Strombedarf. [16, 17, 18]

- Kaminbauart überprüfen, aufgrund der Kennzahlen ist evtl. Bauart „Einstromdüse und Diffusor“ bereits vorhanden. [16]
- EC-Technik ca. 35% besser als Phasenschnittregelung, jedoch nur 5% (ggf. etwas mehr wenn neuere Ventilatoren mit eigener Regelung eingesetzt würden) gegenüber Frequenztechnik, daher empfiehlt sich hier nur eine Umrüstung auf EC-Technik wenn die Ventilatoren defekt sind oder aufgrund ihres Alters ausgetauscht werden müssen. [16, 18, 19]

Fütterung (trocken)

Die Untersuchung dieses Messpunktes hat keine wesentlichen Unterschiede zwischen Werktagen und Wochenenden festgestellt. Auch saisonal gibt es keine Abhängigkeiten, beispielsweise zur Außentemperatur (siehe Anhang D: RWE4 FE-Fütterung, vgl. Abbildung 155 und Abbildung 156). Dieser Verbraucher zeichnet sich durch eine hohe Leistungsaufnahme gegen 01:00h in einem Leistungsbereich zwischen 2,5 und 3,8 kW aus. Im Anschluss fällt die Leistung ab, in einem Bereich zwischen 1,1 und 2,5 kW. Im Laufe des Tages sind starke Schwankungen in einem recht hohem Leistungsbereich (zwischen 2 und bis zu 4,5 kW) zu sehen. Aus den Betriebsdaten geht hervor, dass die zwischenzeitlich auftretenden Leistungsspitzen über 4,5 kW durch einen Hochdruckreiniger verursacht werden. Über die installierte Gesamtleistung oder über die Komponenten des Fütterungssystems ist bisher nichts bekannt. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Leistungsverläufe sehr stark unterscheiden, geben die gemittelten Lastprofile wenig Aufschluss über den Fütterungsprozess. Daher befinden sich im Anhang tägliche Messreihen um diese Problematik zu verdeutlichen. Es konnte festgestellt werden, dass teilweise die Leistungsaufnahme erst nach 06:00h beginnt. Dabei konnte jedoch kein Rhythmus erkannt werden. Zudem variieren die Leistungsbereiche sehr stark. Wobei die wiederkehrenden Leistungsaufnahmen in der Nacht darauf hindeuten, dass hier günstigere Nachstromtarife für die Futtermittelvorbereitung genutzt werden. Anhand der Messreihen und Lastprofile ist eine Ableitung geeigneter Empfehlungen vorerst nicht ausführbar, da ohne Angaben zu den installierten Komponenten eine Interpretation der auftretenden Leistungen, im Gegensatz zum Sauenstall des RWE4, sehr schwierig ist. Dennoch kann bereits jetzt festgehalten wer-

den, dass pneumatische Futterverteilung eine energieintensive Variante darstellt. Der Stromverbrauch ist in beiden Jahren, bis auf Oktober 2014, Mai und Juli im Jahr 2015, annähernd konstant geblieben. Die aufgetretenen Schwankungen sind auf die Stallbelegung, sowie das Alter und Gewicht der Tiere zurückzuführen, da sich die zu fördernde Futtermenge nach diesen Kriterien richtet (siehe Abbildung 81).

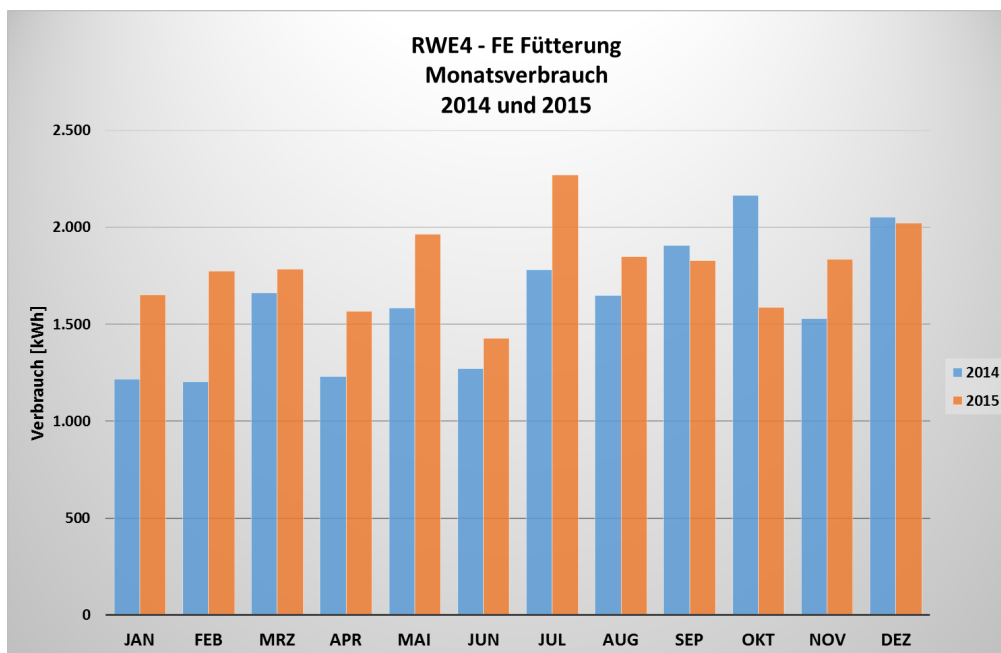


Abbildung 81: RWE4–FE Fütterung Monatsverbrauch 2014 und 2015

Pro Tag werden ca. 55 kWh Strom benötigt. Tabelle 6.36 fasst die wesentlichen Ergebnisse der qualitativeren Auswertung zusammen. In 9 von 12 Monaten wurde im Jahr 2015 deutlich mehr Strom benötigt. Es werden im Monat ca. 1.600 bis 1.800 kWh für die Fütterungsanlagen benötigt.

Tabelle 6.36: RWE4-FE Fütterung: Vergleich des Strombezugs 2014 und 2015

Jahr	RWE4 FE Fütterung [kWh]	Anteil Betriebstyp	Anteil Gesamtverbrauch	kWh/Monat	kWh/TP*a
2014	19.255,37	38,79%	19,47%	1.605	4,28
2015	21.562,59	44,19%	23,34%	1.797	4,79

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.6) werden die Tierplatz-bezogenen Kennzahlen aufgegriffen und mit anderen Betrieben verglichen. Vor allem der Vergleich mit den Trockenfütterungssystemen, die keine pneumatische Verteilung aufweisen, wird deutlich machen, dass aus energetischer Sicht die Verteilung mit Spiral- oder Seilförderer im Vorteil sind. Für weitere

Aussagen werden weitere Angaben zum Fütterungssystem benötigt. Wenn ausreichend Angaben vorliegen ist davon auszugehen, dass ähnliche Überlegungen für Lastverschiebungen in Sonnenzeiten wie bei RWE1 und RWE4 möglich sind.

6.6 Bewertung der Ergebnisse aus Stromverbrauchsdatenmessung

Zunächst werden die Energieverbrauchskennzahlen der untersuchten Betriebe RWE1, RWE2 und RWE4 verglichen. In Tabelle 6.37 sind die unterschiedlichen technischen Ausstattungen der Betriebe und in Tabelle 6.38 die den Betrieben zugeordneten spezifischen Energieverbrauchskennzahlen zu sehen. Bei der Zusammenstellung von Tabelle 6.37 wurden die Messpunkte aus Tabelle 6.3 und die Ergebnisse aus Kapitel 6.5 entsprechend berücksichtigt, demnach werden nur Anlagen und Komponenten aufgeführt, die einen Vergleich der Betriebe erlauben.

Tabelle 6.37: Übersicht der technischen Ausstattung der untersuchten Betriebe

	RWE 1 Sauenstall	RWE 1 Ferkelaufzucht
Lüftungssystem	Zentralabsaugung, Ganglüftung 2 frequenzgeregelte Regelventilatoren, 2 Schaltventilatoren	Zentralabsaugung, Ganglüftung 1 frequenzgeregelter Regelventilator
Leistung Lüftung	5,2 kW	1,9 kW
Leistung Fütterung (trocken)	4,4 kW	2,2 kW
	RWE 2 Sauenstall	RWE 2 Ferkelaufzucht
Lüftungssystem	Zentralabsaugung, 6 frequenzgeregelte Regelventilatoren	Zentralabsaugung, Frequenzregelung über Gruppenschaltung, Luft-Luft-Wärmetauscher
Leistung Lüftung	11,1 kW (3 x 1,5 kW und 3 x 2,2 kW)	6 kW (4 x 1,5 kW)
Leistung Fütterung (flüssig)	16,9 kW	19 kW
	RWE 4 Sauenstall	RWE 4 Ferkelaufzucht
Lüftungssystem	Zentralabsaugung; Rieseldecke/- kanal Frequenzregelung über Gruppenschaltung	Zentralabsaugung; Ganglüftung Frequenzregelung über Gruppenschaltung
Leistung Lüftung	6,8 kW + Wäscherpumpe 2,2 kW	10,2 kW (6 x 1,7 kW)
Leistung Fütterung (trocken)	wird noch erfasst Druckluftverteilung	wird noch erfasst Druckluftverteilung

Der Energieverbrauch der Verfahren in der Nutztierhaltung hängt stark von den Verhältnissen im konkreten Betrieb ab. Die technische Ausstattung von Lüftungs-, Beleuchtungs- und Fütterungsanlagen, die baulichen Merkmale und Lage des Stallgebäudes sowie die klimatischen Verhältnisse vor Ort ha-

ben einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch der untersuchten Ställe. Außerdem beeinflusst der Wartungszustand der Anlagen auch die tatsächlich eingesetzten Energiemengen im Betrieb. Variationen in der Verfahrensgestaltung und die tatsächliche Belegung der vorhandenen Tierplätze sind weitere wichtige Einflussgrößen.

Tabelle 6.38: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in kWh/TP*a

	RWE1 2014		RWE1 2015	
Verbraucher/Stallart	SA	FE	SA	FE
Lüftung	41,8	1,7	38,0	2,0
Fütterung (Futteraufbereitung)	1,9	0,4	1,8	0,4
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	19,09 (30,4)	2,8	17,4 (23,8)	2,6
Gesamt	74,1	5,1	63,7	5,0
	RWE2 2014		RWE2 2015	
Verbraucher/Stallart	SA	FE	SA	FE
Lüftung	24,0	3,1	29,8	3,8
Fütterung (Futteraufbereitung)	11,9	1,8	12,6	1,8
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	9,3	0,9	12,7	1,1
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	7,5	-	6,8	-
Gesamt	52,7	5,8	61,9	6,6
	RWE4 2014		RWE4 2015	
Verbraucher/Stallart	SA	FE	SA	FE
Lüftung	104,8	6,8	88,9	6,1
Fütterung (Futteraufbereitung)	33,6	4,3	33,5	4,8
Gesamt	138,4	11,0	122,4	10,9

Im Rahmen der Auswertung wurde festgestellt, dass die Lüftungen in den untersuchten Betrieben den größten anteiligen Stromverbrauch haben. Dabei hat sich gezeigt, dass das eingesetzte Lüftungssystem im Sauenstall des Betriebes RWE2 im untersuchten Betrachtungszeitraum 2014 und 2015, die niedrigsten Tierplatz-bezogenen Kennzahlen hat. Im Vergleich mit dem RWE4 Betrieb lässt sich ablesen, dass der Sauenstall des RWE2 Betriebs in den beiden Jahren pro Tierplatz 77 bzw. 67% weniger Energie benötigte. Unter Berücksichtigung der eingesetzten Lüftungssysteme beider Betriebe in der Stallart Sauenhaltung wird ersichtlich, dass der RWE2 Betrieb ausschließlich frequenzgeregelte Ventilatoren verwendet und eine zentrale Oberflurabsaugung

verbaut hat. Der Sauenstall des RWE4 Betriebes hingegen verwendet zwar Ventilatoren die über eine Gruppenschaltung frequenzgeregelt werden, jedoch wird bei der Zuluftführung das Prinzip der Rieseldecke bzw. -kanal verwendet. Des Weiteren befindet sich im zentralen Oberflurkanal der Abluftführung ein eingebauter Wäscher, der wahrscheinlich für einen großen Teil des Tierplatz-bezogenen Mehrbedarfs verantwortlich ist. Über das Lüftungssystem des Sauenstalls vom RWE1 Betrieb ist sowohl die Zuluftführung (Futterganglüftung) als auch die Abluftführung (Oberflur-Zentral) bekannt. Die Zuluftführung ist die strömungsgünstigste Variante, die Abluftführung unterscheidet sich nicht vom RWE2 Sauenstall. In beiden Fällen könnten hier Effizienzverbesserungen durch eine dezentrale Oberflurabsaugung erzielt werden. [16, 17] Dennoch ist zu sehen, dass der RWE1 Sauenstall pro Tierplatz 43 bzw. 21% mehr Energie benötigt. Der Grund für den Mehrbedarf ist auf die eingesetzten Schaltventilatoren zurückzuführen, die in niedrigeren Drehzahlbereichen bei gleicher Luft-rate eine höhere Leistungsaufnahme besitzen. Frequenzgeregelter Ventilatoren im Vergleich haben eine viel geringere Leistungsaufnahme in niedrigeren Drehzahlbereichen. [16, 17, 19] Die Lüftung des Ferkelaufzuchtstalls des RWE1 Betriebes wiederum hat einen 45 bzw. 47% geringeren Energiebedarf als der Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebs. Im Vergleich der Systeme fällt auf, dass im Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes ein Luft-Luft-Wärmetauscher eingesetzt wird. Dieser wärmt die einströmende Luft mit der Abluft des Stalls vor, wodurch der Heizenergiebedarf geringer aber der Strombedarf der Lüfter erhöht wird. [16] Zudem wird im Ferkelaufzuchtstall des RWE1 Betriebes ein Ventilator mit eingebauter Frequenzregelung verwendet und im Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes werden vier Ventilatoren über eine Gruppenschaltung geregelt. Obwohl die Angaben zu den Luftführungen der Ferkelaufzuchtställe von RWE1 und RWE4 identisch sind, unterscheiden sich dennoch ihre Lüftungs-Kennzahlen. Zum einem ist hier die Gruppenschaltung von RWE4 zu nennen und zum anderen sind keine Angaben zur Kaminbauart bekannt, die den Energiebedarf je nach Ausführung stark beeinflussen kann. Die anhand der Kennzahlen erzielten Erkenntnisse bezüglich einer energetisch effizienten Lüftung werden in Kapitel 6.6.1 abschließend behandelt.

Die Tierplatz-bezogenen Energieverbrauchskennzahlen zur Beleuchtung der Stallart Sauenhaltung des RWE2 Betriebes sind aufgrund der in Kapitel 6.5.2.1

gewonnenen Erkenntnisse nicht für einen Vergleich geeignet. Außerdem sind nur vom RWE1 Betrieb Angaben zum Beleuchtungssystem bekannt. Beim RWE4 Betrieb wird die Beleuchtung nicht erfasst. Als einzige Vergleichsmöglichkeit bleiben daher die Ferkelaufzuchtställe des RWE1 und RWE2 Betriebes übrig, auch wenn über den RWE2 Betrieb keine Angaben zum Beleuchtungssystem bekannt sind. Aufgrund der Tatsache, dass beim RWE1 Betrieb in beiden Stallarten keine elektronischen Vorschaltgeräte im Beleuchtungssystem verbaut sind und die Kennzahlen um 68 bzw. 58% vom Ferkelaufzuchtstall des RWE2 Betriebes abweichen, ist davon auszugehen, dass durch eine sehr einfache Nachrüstung Energieeinsparungen erzielt werden können. Diese Einschätzung wird durch die bundesweiten Landwirtschaftskammern sowie dem Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V. belegt. Daher wird im Kapitel 6.6.1 sowohl diese, auch aus praxisnahen Messungen gewonnene, Erkenntnis für den Einsatz von energieeffizienten Komponenten und deren Energieeinsparmöglichkeiten durch LED-Technik abschließend behandelt.

Im Vergleich der Energieverbrauchskennzahlen der Fütterungssysteme von RWE1 und RWE2 fällt auf, dass die Trockenfütterung im Vergleich mit der Flüssigfütterung einen deutlich geringeren Tierplatz-bezogenen Energiebedarf hat. In der Sauenhaltung ist der Bedarf um 85% und in der Ferkelaufzucht um 78% geringer. Der Bedarf wäre allerdings etwas höher, wenn der RWE1 Betrieb statt fremdgemahlenem Futter, selbstgemahlenes Futter verwenden würde. Der Betrieb RWE4 setzt eine pneumatische Verteilung des Futters ein, wodurch im Vergleich mit dem Flüssigfütterungssystem in der Sauenhaltung und Ferkelaufzucht zusätzlich 64 bzw. 58% mehr Energie pro Tierplatz benötigt werden. Im nachfolgenden Kapitel 6.6.1 werden die aus den Kennzahlen generierten Erkenntnisse, hinsichtlich des Energieaufwands der unterschiedlichen Fütterungssysteme, erläutert und anschließend in Kapitel 6.6.2 unter Berücksichtigung von Kapitel 6.5 hinsichtlich ihrer Eignung zur Lastverschiebung betrachtet.

6.6.1 **Empfehlungen für energieeffiziente Komponenten**

Anhand der Auswertungen in Kapitel 6.5 und den berechneten Energieverbrauchskennzahlen werden nun Empfehlungen für die Verbraucher Lüftung,

Beleuchtung und Fütterung getroffen, da sich gezeigt hat, dass hier die größten Potentiale zu erwarten sind.

Lüftung

Es lässt sich festhalten, dass der Stromverbrauch der Lüftungsanlage mit einem Anteil von fast zwei Dritteln am Gesamtstromverbrauch beteiligt ist. Aufgrund der Praxisuntersuchungen in diesem Projekt konnte nachgewiesen werden, dass unterschiedliche Luftführungen den Energiebedarf maßgeblich beeinflussen. Bei der Planung oder Umgestaltung von Lüftungsanlagen empfiehlt es sich darauf zu achten, dass nach Möglichkeit bei der Zuluftführung das Prinzip der Futterganglüftung und bei der Abluftführung die dezentrale Oberflurabsaugung eingebaut wird. Auf den Abluftkaminen sollten Diffusoren angebracht werden, da diese den Luftwiderstand zusätzlich verringern. [16, 18] Diese Maßnahmen gehören jedoch zu den investitionsträchtigen und lassen sich nicht einfach umsetzen. Des Weiteren wurde in diesem Projekt aufgezeigt, dass die Lüftung in ungefähr 50% Jahresstunden mit 20 bis 30% der maximalen installierten Leistung läuft. Daher ist die Teillasteffizienz ein wichtiges Kriterium, um den Energiebedarf für Lüftungssysteme möglichst gering zu halten. Die Art der Regelung hat also einen direkten Einfluss auf den Energiebedarf und dieser kann durch einen überschaubaren Mitteleinsatz gesenkt werden. Bei der Lüftungsanlage gibt es vier verschiedene Varianten der Regelung, die kurz erläutert werden:

- **Phasenanschnittsteuerung:** Bei ihr wird die Ventilatorenleistung über eine Drosselung gesteuert. Die Elektronik steuert die Drehzahl über die elektrische Spannung abhängig von der Temperatur. Niedrige Temperaturen führen zu einer niedrigen Drehzahl am Ventilator. Diese Steuerung ist zwar sehr günstig, verbraucht aber im Teillastbereich sehr viel Strom. [6, 10, 11, 16, 19, 20]
- **Transformator-Regelung:** Wie die Phasenanschnittsteuerung ist das auch eine mechanische Regelung. Auch sie regelt die Spannung abhängig von der Temperatur. Die Stromaufnahme ist zwar geringer als beim Phasenanschnitt, aber dafür regelt sie die Leistung nur in Stufen. [6, 10, 11, 16, 19, 20]

- Frequenzumrichter: Er regelt die Drehzahl elektronisch, in dem er Frequenz und Spannung verändert und damit Drehzahl und Drehmoment des Motors variiert. Die Motorleistung wird nicht wie in den ersten beiden Fällen gedrosselt, sondern der Motor nimmt nur so viel Strom auf wie er benötigt. Die Regelung erfolgt stufenlos. Die Anschaffungskosten sind zwar rund fünfmal so hoch wie bei den mechanischen Verfahren. Aber dafür liegt die Stromaufnahme im Teillastbereich um 35 % darunter. [6, 10, 11, 16, 19, 20]
- Ventilatoren mit EC-Motor: EC steht für „elektronisch kommutiert“. Die Motoren besitzen eine Kommutierungseinheit als elektronische Regelung. Die Stromaufnahme ist noch einmal 5 % geringer als bei frequenzgeregelten Geräten. Die Geräte arbeiten auch im Teillastbereich nochmal effizienter. [6, 10, 11, 16, 18, 19, 20]

In Abbildung 82 ist ein Vergleich der beschriebenen Regelvarianten zu sehen. Im Regelbereich bis etwa 60% der Nenndrehzahl hat die Frequenztechnik (Fcontrol) eine geringere Aufnahmeleistung von ca. 35% gegenüber der Spannungsregelung (Ucontrol). Für die EC-Technik (EC-Motor) ist die Aufnahmeleistung um weitere 5% geringer als bei der Frequenztechnik.

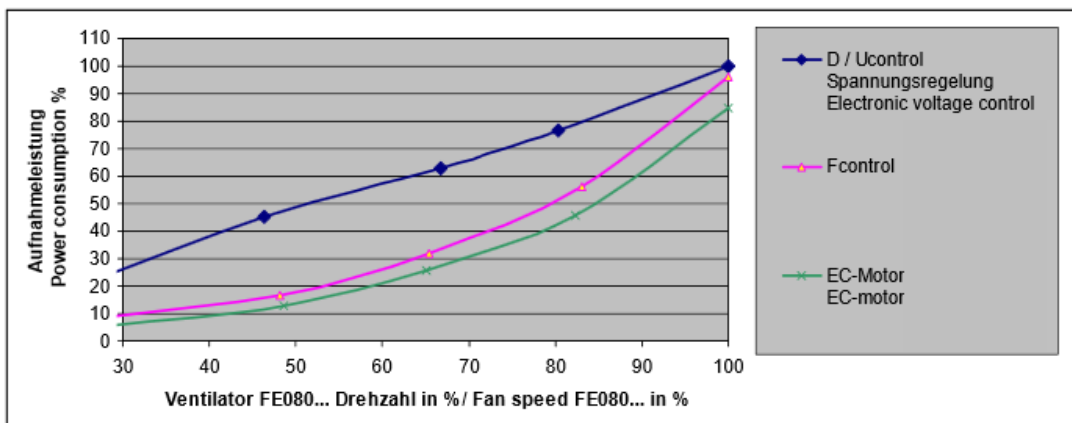


Abbildung 82: Vergleich der Aufnahmeleistung verschiedener Regelungsvarianten von Ventilatoren [ZIEHL-ABEGG AG]

Während sich die Frequenzregelung bei bestehenden Ventilatoren nachrüsten lässt, müssen Ventilatoren mit EC-Motor neu installiert werden. Daher empfiehlt sich eine Nachrüstung einer Frequenzregelung bei bestehenden Ventilatoren. Spätestens bei Neuinvestitionen sollte auf Ventilatoren mit EC-Motor zurückgegriffen werden.

Ansonsten haben die Auswertungen gezeigt, dass beim Lüftungssystem darauf geachtet werden sollte, dass die Zu- und Abluftkanäle regelmäßig gereinigt werden, um Widerstände des Luftstroms zu vermeiden. Des Weiteren sollten die Einstellungen des Klimacomputers (inklusive der Temperaturfühler und Regler) regelmäßig auf ihre Richtigkeit überprüft werden, so dass beispielsweise die Luftwechselrate und Stalltemperatur an die Jahreszeit angepasst ist. Zusammenfassend ist hier also nicht nur die richtige Planung und Ausführung zu beachten, sondern auch die Pflege und Wartung der Lüftungsanlagen.

Beleuchtung

Die Beleuchtung ist ebenfalls ein großer Stromverbraucher. Vor allem im Sauenstall, wie die Auswertung der Stromverbrauchsdaten ermittelt hat. Der sukzessive Austausch von Leuchtmitteln gegen moderne, energieeffiziente Lampen und Leuchten reduziert den Stromverbrauch der Beleuchtungsanlagen spürbar. Anhand der praxisnahen Messungen und den Angaben aus den Betriebsdaten, empfiehlt sich daher die einfache Nachrüstung von elektronischen Vorschaltgeräten, die den Stromverbrauch um bis zu 25% reduzieren können. [18] Zusätzlich empfiehlt sich der Einsatz von Luxmetern zur Reduzierung der Beleuchtungsstärke während des Tageslichteinfalls in fensternahen Bereichen oder der Einsatz von Bewegungsmeldern zur Lichtsteuerung im Arbeitsbereich. [11, 16, 18] In den unten gezeigten Tabellen (Tabelle 6.39 und Tabelle 6.40) sind Beispielrechnungen für den Einsatz von LED-Technik in den Stallarten Ferkelaufzucht und Sauenhaltung des Betriebes RWE1 zu sehen.

Tabelle 6.39: LED-Beispielrechnung RWE1-Ferkelaufzucht nach [16]

Leuchtstoffröhre			LED		
Lichtausbeute	90,00	lm/W	Lichtausbeute	115,00	lm/W
Leistung	36,00	W	Leistung	21,00	W
Lichtstrom	3.240,00	lm	Lichtstrom	2.415,00	lm
Arbeitsstunden am Tag	10,00	h/d	Arbeitsstunden am Tag	10,00	h/d
Arbeitstage Jahr	365,00	d/a	Arbeitstage Jahr	365,00	d/a
Arbeitsstunden pro Jahr	3.650,00	h/a	Arbeitsstunden pro Jahr	3.650,00	h/a
Beleuchtungsstärke	80,00	lx	Beleuchtungsstärke	80,00	lx
Stallfläche	0,44	m ² /TP	Stallfläche	0,44	m ² /TP
Wirksamanteil	0,40	-	Wirksamanteil	0,40	-
Strombedarf	3,57	kWh/TP*a	Strombedarf	2,79	kWh/TP*a
Tierplätze	1.600,00	TP	Tierplätze	1.600,00	TP
Stromkosten	0,25	€/kWh	Stromkosten	0,25	€/kWh
			CO ₂ -Einsparung	176,58	kg/a
Summe Stromkosten	1.427,56	€	Summe Stromkosten	1.117,22	€

Tabelle 6.40: LED-Beispielrechnung RWE1-Sauenstall, Abferkelbereich nach [16]

Leuchtstoffröhre			LED		
Lichtausbeute	90,00	lm/W	Lichtausbeute	115,00	lm/W
Leistung	36,00	W	Leistung	21,00	W
Lichtstrom	3.240,00	lm	Lichtstrom	2.415,00	lm
Arbeitsstunden am Tag	10,00	h/d	Arbeitsstunden am Tag	10,00	h/d
Arbeitstage Jahr	365,00	d/a	Arbeitstage Jahr	365,00	d/a
Arbeitsstunden pro Jahr	3.650,00	h/a	Arbeitsstunden pro Jahr	3.650,00	h/a
Beleuchtungsstärke	80,00	lx	Beleuchtungsstärke	80,00	lx
Stallfläche	5,50	m ² /TP	Stallfläche	5,50	m ² /TP
Wirksamanteil	0,40	-	Wirksamanteil	0,40	-
Strombedarf	44,61	kWh/TP*a	Strombedarf	34,91	kWh/TP*a
Tierplätze	660,00	TP	Tierplätze	660,00	TP
Stromkosten	0,25	€/kWh	Stromkosten	0,25	€/kWh
			CO ₂ -Einsparung	910,50	kg/a
Summe Stromkosten	7.360,83	€	Summe Stromkosten	5.760,65	€

Die Wechselintervalle wurden in den Rechnungen zwar nicht berücksichtigt, aber aufgrund der erwarteten Lebensdauer von LED-Leuchtmitteln (ca. 50.000 Stunden und mehr) gegenüber Leuchtstoffröhren (ca. 13.000 bis 20.000 Stunden) ist davon auszugehen, dass sich neben den Stromkosten auch die Wartungskosten erheblich reduzieren. Eine zusätzliche Verringerung der Beleuchtungsdauer könnte ebenfalls Stromeinsparungen erzielen.

Fütterung

Im Rahmen der Auswertung wurden die beiden Systeme Trocken- und Flüssigfütterung hinsichtlich ihres Energieverbrauchs untersucht. Eine weitere Besonderheit war ein betrachtetes pneumatisches Verteilsystem. Die Entscheidung welches System eingesetzt werden soll muss im Einzelfall geprüft werden. Aus energetischer Sicht ist die Trockenfütterung am besten, aber anhand weiterer Auswertungen anderer Betriebe muss geprüft werden, inwieweit das Mahlen und Mischen energetisch ins Gewicht fällt. Zumindest der Getreideanteil in der Ration muss auch gemahlen werden. Bei einem Corn-Cob-Mix (CCM), fällt die Energie des Mahlens aber beispielsweise nicht im Stall, sondern bei der Ernte auf dem Feld an. Im nachfolgenden Kapitel 6.6.2 unter anderem die ermittelten Lastverschiebepotentiale dieses Fütterungssystems beschrieben.

Die Flüssigfütterung wiederum ist für Lastverschiebungen nicht geeignet und aus energetischer Sicht unterlegen. Zum einem sind die hygienischen Anfor-

derungen an Mischbehälter, Rohrleitungen und Tröge sehr hoch und zum anderen gestaltet sich die Prozessführung relativ aufwendig sowie energieintensiv. Allerdings kann die Flüssigfütterung beim Einsatz billiger Futterkomponenten trotzdem günstiger sein. Ein Vorteil dieser Anlagen ist, dass praktisch alle Futtermittel, trocken oder fest, z.B. auch Nebenprodukte aus der industriellen Aufbereitung von Lebensmitteln, verwendet werden können.

Die Pneumatische Verteilung ist sehr ineffizient aufgrund ihres hohen Energiebedarfs. Wenn Angaben zu den Futtermengen bekannt sind, kann diese Erkenntnis zusätzlich unterstrichen werden.

6.6.2 ***Lastverschiebepotentiale in den untersuchten Betrieben***

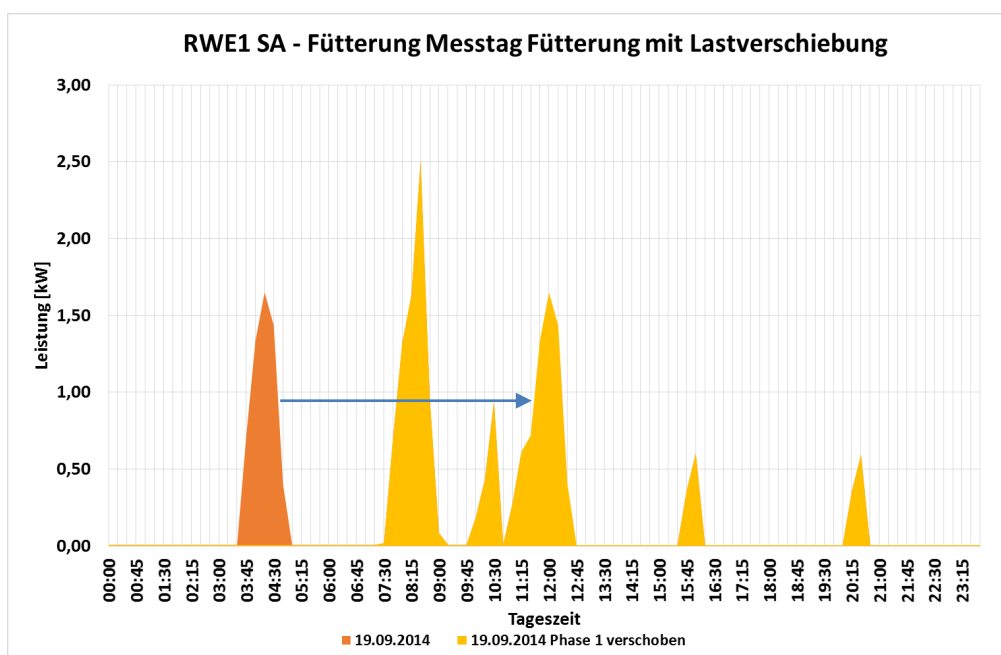
Im Fokus der Auswertung stand die Identifizierung von Lasten, die verschoben werden könnten. Dabei wurde davon ausgegangen, dass sich vor allem Zeiten, in denen ein möglichst hoher Solarstromertrag erzielt werden kann, prädestiniert sind. Selbst wenn keine eigenen PV-Anlagen vorhanden sind, hat sich durch den Zubau von erneuerbaren Energien der Strommarkt dahingehend gewandelt, dass tagsüber ein Stromangebot vorliegt, welches die Nachfrage übersteigt. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass jeder landwirtschaftliche Betrieb eine eigene PV-Anlage installiert hat. PV-Anlagen haben je nach Anlagentyp (Freifläche oder kleine Dachanlage) und Einstrahlung (850 bis 1200 kWh/m²*a in Deutschland) Stromgestehungskosten zwischen 0,078 und 0,142 Euro/kWh. Die spezifischen Anlagenkosten liegen dabei im Bereich von 1000 bis 1800 Euro/kWp. Die Stromgestehungskosten für alle PV-Anlagentypen haben die Strombezugskosten unterschritten. Sie liegen unterhalb des durchschnittlichen Strompreises der Landwirtschaft von ca. 0,245 Euro/kWh. [22] Daher ist der Eigenverbrauch unter den momentanen Energie marktbedingungen der Einspeisung vorzuziehen. Zumal sich dadurch ein gewisser Autarkiegrad einstellen lässt, der sich stark fluktuierenden Energiepreisen widersetzt und unabhängig macht.

Unter Berücksichtigung der über das ganze Jahr zu erwartenden solaren Einstrahlung, wurde der optimale Zeitraum zur ganzjährigen und bestmöglichen Solarstromausnutzung auf 09:00h bis 17:00h festgelegt. [21] Je nach Ausrichtung und Neigung der PV-Anlage könnte der Bereich sogar noch erhöht werden. [21, 22] In Tabelle 6.41 sind die Ergebnisse der Auswertung dargestellt.

Tabelle 6.41: Ermittelter Lastverschiebepotential in die Sonnenzeit

Betrieb	Stallart	Verschiebepotential
RWE1	SA	400 kWh
RWE1	FE	277 kWh
RWE2	SA	450 kWh
RWE4	SA	2.100 kWh
Summe		3.227 kWh

In Abbildung 83 und Abbildung 84 sind, am Beispiel der Betriebe RWE1 und RWE4, exemplarische Verschiebemöglichkeiten der Trockenfütterungsanlagen zu sehen.

**Abbildung 83:** Lastverschiebung am Beispiel RWE1-SA Fütterung

Dabei wurde davon ausgegangen, dass in beiden Fällen die Leistungsaufnahmen im Zeitraum 03:00 bis 05:30h bzw. 06:00h der Futtervorbereitung zugeordnet werden kann. Durch den Zubau von zusätzlichen Futtersilos könnten somit die morgendlichen Mahl- und Mischprozesse entkoppelt werden. Es wäre auch denkbar, dass auf Preissignale reagiert werden könnte. Entscheidend ist jedoch, dass zusätzliche Lagermöglichkeiten für die Futtervorbereitung vorhanden sind.

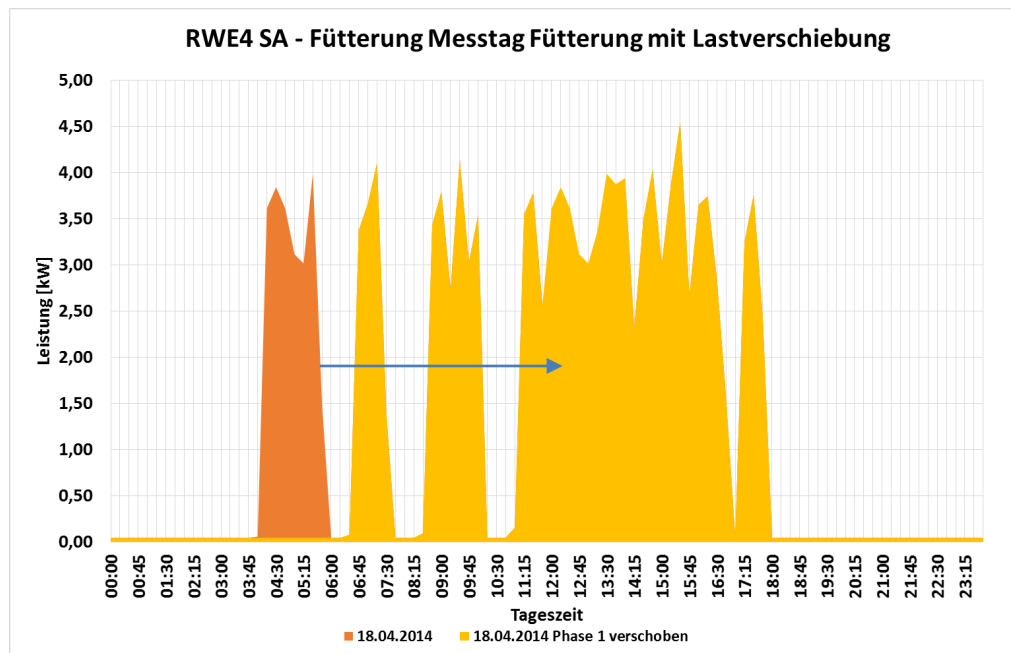


Abbildung 84: Lastverschiebung am Beispiel RWE4-SA Fütterung

Eine Flexibilisierung von Trockenfütterungsanlagen ist realisiert, da Erzeugung und Verbrauch voneinander entkoppelt werden können. Die Speichergroße bestimmt unter anderem die Verschiebedauer.

Außerdem hat sich während der Auswertung gezeigt, dass alle periodischen oder zyklischen Prozesse, wie zum Beispiel Reinigungs- und Entmistungsprozesse, in die Sonnenzeit verlegt werden können um die Solarstromausnutzung zu maximieren. Dazu reicht eine einfache Verhaltensänderung im Betriebsablauf.

6.6.3 *Unregelmäßigkeiten des Stromverbrauchs*

Im Laufe der Auswertung konnten einige Unregelmäßigkeiten des Stromverbrauchs festgestellt werden:

- RWE1-SA:
 - Lüftung: Überprüfung der tatsächlich installierten Leistung, in den Betriebsdaten sind 5,2 kW installierte Leistung angegeben, gemessen wurden bis zu 8 kW.
 - Lüftung: Aus den Messreihen geht hervor, dass vermutlich die Schaltventilatoren (ca. 1 bis 1,2 kW je Lastsprung) zu „grob“ regeln (Anhang B: RWE1 SA – Lüftung) – Mögliche Ursache: Sensorik, Klimasteuerung. Durch Interpolation konnten Lastsprünge

geglättet und im Anschluss die zusätzlich verbrauchte Energie berechnet werden. Für 2014 955 kWh und für 2015 2532 kWh, also über den Messzeitraum insgesamt 3.488 kWh, ergibt 871,91 € bei 0,25 €/kWh.

- RWE2-SA:
 - Lüftung: Siehe Abbildung 115; Überprüfung der Ausreißer unterhalb 1 kW (2014)
 - Beleuchtung: Erscheint nicht plausibel, kein konstanter Verbrauch erkennbar, starke Schwankungen zwischen 2014 und 2015, siehe Kapitel *RWE2 - Sauenstall* und Anhang C: RWE2 SA-Beleuchtung
- RWE4-SA:
 - Lüftung: Vereinzelte Lastspitzen konnten in Messreihen festgestellt werden, allerdings nicht so gravierend wie bei RWE1, dennoch empfiehlt es sich die Regelung mittels Klimacomputer ggf. anzupassen um Spitzen zu vermeiden, siehe Anhang D: RWE4 SA-Lüftung.
 - Lüftung: Zu sitzender Tropfenabscheider, siehe Anhang D: RWE4 SA-Lüftung
- RWE4-FE
 - Lüftung: Defekte Ventilatoren, siehe Anhang D: RWE4 FE-Lüftung

Ferner wurden Stand-by Stromverbräuche festgestellt, die überprüft und nach Möglichkeit abgestellt werden sollten:

- RWE1-SA:
 - Beleuchtung: Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,3 kW) in Höhe von 1.210 kWh
 - Fütterung: Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,1 kW) in Höhe von 99 kWh
- RWE1-FE:
 - Beleuchtung: Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,3 kW) in Höhe von 1.649 kWh.

- RWE2-FE:
 - Beleuchtung: Aus beiden Jahren kumulierter Stand-by Verbrauch (Leistung unter 0,5 kW) in Höhe von 2.702 kWh.

7. Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt und Ableitung allgemeiner Empfehlungen

7.1 Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt

Vorneweg ist es positiv zu bewerten, dass seit März 2015 die kontinuierliche Verbrauchsdatenübertragung für alle Betriebe und Zähler gewährleistet wurde. Daher sind für die verlängerte Projektlaufzeit weitere Betriebe für Auswertungen der Stromverbrauchsdaten geeignet. An einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Wärmemengen wird derzeit gearbeitet.

Die Erhebung der Betriebsdaten hat starke Unterschiede der Produktionsverfahren innerhalb der ausgewählten Betriebe gleichen Typs hinsichtlich des Energiebedarfs offenbart, wodurch die gesetzten Anforderungen an die Betriebe für das Projekt erfüllt werden konnten. Zudem hat sich gezeigt, dass mit mehr betriebspezifischen Daten qualitativ bessere Analysen erstellt werden können.

Als weiteren Erfolg gilt es festzuhalten, dass die erhobenen Kennzahlen aus der Modellkalkulation der KTBL über den Energiebedarf von landwirtschaftlichen Nutztierhaltungsbetrieben durch aussagekräftige Messungen validiert werden konnten. Dabei konnte nachgewiesen werden, wie sehr der Energiebedarf in der Praxis durch betriebsindividuelle Faktoren beeinflusst wird.

Die in Kapitel 6 vorgestellte exemplarische Auswertung der Energieverbrauchsdaten, in Kombination mit der aufgebauten Datenbank inklusive des Analyse-Tools, verdeutlicht und bestätigt die Potentiale des Projektes „Intelligente Energie in der Landwirtschaft. Im weiteren Verlauf der Projektlaufzeit ist es nun möglich, die erzielten Ergebnisse unter wirtschaftlichen Aspekten auszuwerten, da jegliche Änderung des Verbrauchs oder durchgeführte Effizienzmaßnahmen durch die kontinuierlichen Messungen validiert werden können. Demnach ist jede Einsparung von Energie unmittelbar mit der Einsparung von CO₂ verknüpft. Im derzeitigen Strom-Mix in Deutschland werden pro erzeugter kWh ca. 569 Gramm CO₂ emittiert.

7.2 Ableitung allgemeiner Empfehlungen

Aus den Ergebnissen der exemplarischen Auswertung der Energieverbrauchsdaten lassen sich folgende allgemeinen Empfehlungen ableiten:

1. Nach Möglichkeit alle periodischen bzw. zyklischen Prozesse wie zum Beispiel Fütterungs-, Reinigungs-, Entmistungs- und Kühlungsprozesse in Sonnenzeit legen um Solarstromausnutzung zu maximieren.
2. Je nach Anwendungsfall und Energiebedarf (Strom, Wärme und Kälte) sollte der Einsatz von erneuerbaren Energiequellen geprüft werden. Werden bereits erneuerbaren Energiequellen genutzt, sollte überprüft werden, ob unter Umständen der Anteil selbst erzeugter Energie am betrieblichen Energieverbrauch gesteigert werden kann.
3. Je nach Anwendungsfall können aufwendige Prozesse durch Speicherkapazitäten entkoppelt werden um den Eigenverbrauch zu erhöhen, z.B. durch Futtersilos bzw. Lagerbehälter, Eisswasserspeicher oder Batterien
4. Energieintensive Komponenten durch effizientere austauschen, z.B. Leuchtmittel und Ventilatoren
5. Steuerungs- und Regelsysteme regelmäßig überprüfen und optimieren

8. Fazit und Ausblick

Im Verlauf des Projekts konnten, aufgrund der anfänglichen Probleme zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Verbrauchsdatenübertragung, lediglich Betriebe mit Sauen- und Ferkelaufzucht sinnvoll hinsichtlich der Projektziele untersucht werden. Es wird dabei auf die Plausibilitätsprüfung hingewiesen, welche die eingangs erwähnten Schwierigkeiten mit der Inbetriebnahme der Smart-Meter belegt.

Dementsprechend konnten Betriebe der Milcherzeugung nur lückenhaft analysiert werden. Milchviehbetriebe haben neben einem hohen Strombedarf auch einen hohen Kältebedarf, bedingt durch die Kühlung der Milch. Dieser Kältebedarf könnte beispielsweise über kostengünstige erneuerbare Energien bereitgestellt werden. Daher werden im Laufe der Fortführung vermehrt Milchviehbetriebe analysiert. Es ist jedoch hinzuzufügen, dass dennoch 20 von insgesamt 50 Stromzählern die Kriterien zur Auswertung erfüllt haben und die ersten verwertbaren Ergebnisse in diesem Projekt erzielt wurden.

Mit den erhobenen Daten zur eigenen Strom- und Wärmeproduktion von landwirtschaftlichen Nutztierhaltungsbetrieben wird die Erstellung von erneuerbaren Energiekonzepten mit hohem Eigenverbrauchsanteil ermöglicht. Wenn alle Parameter identifiziert werden können, die den Lastverlauf bedingen, können Lastverläufe höchstwahrscheinlich prognostiziert werden, wodurch die Anpassungsmöglichkeiten des Verbrauchs durch intelligente Steuergeräte gesteigert werden. Zum einen kann eine Lastverschiebung in preisgünstigere Zeiten erfolgen oder der Eigenversorgungsgrad erhöht werden. Dabei werden sowohl Einsparpotentiale als auch Effizienzsteigerungen erzielt. Zu guter Letzt wird somit eine CO₂-Einsparung erreicht. Ziel ist die Erstellung von möglichst Modular aufgebauten Energiekonzepten, die nach gewissen Anwendungsfallbezogenen Anpassungen problemlos auf andere Betriebe übertragen werden können.

9. Literaturverzeichnis

- [1] BMU, „Ausbauziele der erneuerbaren Energien,“ 19 02 2015.
[Online]. Available:
<http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/ausbauziele-der-erneuerbaren-energien>.
[Zugriff am 26 03 2015].
- [2] Pressemitteilung Umwelt.NRW, „Minister Remmel: „Kraft-Wärme-Kopplung braucht verlässliche Rahmenbedingungen durch den Bund“,“ Düsseldorf, 2015.
- [3] UBA, „Energie - stationär,“ [Online]. Available:
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen>
https://de.wikipedia.org/wiki/Intelligenter_Z%C3%A4hler#Deutsche_Gesetzeslage.
[Zugriff am 16 01 2014]
- [4] Deutsche Gesetzeslage „Intelligente Zähler“ [Online]. Available:.
https://de.wikipedia.org/wiki/Intelligenter_Z%C3%A4hler#Deutsche_Gesetzeslage.
[Zugriff am 03 03 2016].
- [5] Mag. Christine Öhlinger, Dr. Gerhard Dell, Mag. Christiane Egger - *Stromsparen in der Landwirtschaft*; O.Ö. Energiesparverband, 2008.
- [6] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Energie clever nutzen – Innovative Energiekonzepte für die landwirtschaftliche Tierhaltung*; KTBL-Heft 103, 2014.
- [7] U. Averbeg, K. Block, Brüggemann and et.al. - *Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft*, Verband der Landwirtschaftskammern e.V., Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, 2009.

- [8] Lastprofile Strom der NEW Netz GmbH [Online]. Available: <https://www.new-netz-gmbh.de/stromnetz/netzzugang/lastprofile/> [Zugriff 08.01.2016]
- [9] N. Clausen - *Elektroenergiebedarf in der Milchvieh- und Schweinehaltung*, Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e.V. (AEL), Berlin 2013.
- [10] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Lüftung in Schweineställen*; KTBL Fachartikel, 2009.
- [11] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Energieverbraucher im Schweinestall*; KTBL Fachartikel, 2009.
- [12] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Gruppenhaltung von tragenden Sauen*, KTBL Fachartikel, 2009.
- [13] Dr. J. Müller - *Betriebswirtschaftliche Richtwerte – Systemferkelproduktion und Ferkelaufzucht*; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2012.
- [14] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Bauausführung und Haltungstechnik geschlossener Mastschweineställe*, KTBL Fachartikel, 2009.
- [15] Jungbluth, T., Büscher, W., Krause, M. - *Technik Tierhaltung*, UTB Grundwissen Bachelor, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 2005.
- [16] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung*; KTBL-Heft 105, 2014.
- [17] KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - *Energiebedarf in der Milchviehhaltung*; KTBL-Heft 104, 2014.
- [18] Neiber, J., Neuman, H. - *Knipsen Sie die größten Stromfresser aus!; top agrar 2/2014*.
- [19] Feldmann, R., Feller, B. - *Lüftung, so halbieren Sie die Stromkosten; top agrar 12/2008*.

- [20] Feller, B. - *Innovative Ferkelaufzucht, Heizen und Lüften*; EuroTier-Special Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2014.
- [21] Kollnig, M. - *Wirtschaftlichkeit der Überschusseinspeisung von elektrischem Strom aus Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben*, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Agrar und Forstökonomie, 2013.
- [22] Fraunhofer-Institut für Solare Energie Systeme ISE - *Stromentstehungskosten Erneuerbare Energien*; Studie, 2013.

Anhang A: Plausibilitätsprüfung

Betriebe	Zählerbezeichnung	Zählergenauigkeit	
		2014	2015
BESTE1	Fütterung	40,17%	98,48%
BESTE1	Fütterung 2	56,44%	98,09%
BESTE1	Lüftung	40,17%	98,54%
BESTE1	Lüftung 2	56,44%	98,09%
BESTE2	Fütterung	42,02%	99,26%
BESTE2	Fütterung 2	31,48%	77,81%
BESTE2	Lüftung	42,02%	99,26%
BESTE2	Lüftung 2	31,48%	83,18%
BESTE3	Chargenmischer	5,59%	78,99%
BESTE3	Lüftung	5,59%	75,30%
BESTE4	Kühlung	48,17%	79,67%
BESTE4	Melkroboter	48,17%	79,67%
BESTE5	Fütterung	90,86%	93,92%
BESTE5	Mühle	90,85%	94,67%
BESTE6	Kühlung	9,32%	79,49%
BESTE7	Kühlung	0,00%	83,44%
BESTE8	Karussellantrieb	0,00%	82,45%
BESTE8	Melkstand	0,00%	82,76%
BESTE8	Milchkuehlung	0,00%	76,00%
BESTE8	Mistschieber	0,00%	77,17%
BESTE8	Vakuumpumpe	0,00%	83,20%
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Trockenfütterungsketten	99,14%	99,91%
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Zentrallüftungsanlage	99,55%	99,87%
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Beleuchtungstechnik	98,90%	99,89%
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - sonstige Verbraucher	99,10%	99,92%
RWE1	Sauenstall - Trockenfütterungsanlagen	99,17%	99,92%
RWE1	Sauenstall - Lüftungsanlage	98,96%	99,88%
RWE1	Sauenstall - Beleuchtungstechnik	99,16%	99,65%
RWE1	Sauenstall - Rotlicht im Deckzentrum	98,97%	92,14%
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Fütterung	99,01%	99,87%
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Lüftung	99,00%	99,90%
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Licht	99,14%	99,94%
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Nebenverbraucher	42,29%	17,40%
RWE2	Sauenstall - Fütterung	99,04%	99,90%
RWE2	Sauenstall - Lüftung	99,10%	99,91%
RWE2	Sauenstall - Licht	98,19%	99,89%
RWE2	Sauenstall - Nebenverbraucher	99,61%	92,03%
RWE3	Mastschweinstall - Lüftung	99,17%	99,90%
RWE3	Mastschweinstall - Fütterung	99,21%	17,58%
RWE3	Mastschweinstall - Abzweig / Einspeisung im Nebestall	98,80%	99,85%
RWE4	Ferkelaufzucht - Fütterung	98,47%	99,86%
RWE4	Ferkelaufzucht - Lüftung	98,91%	99,84%
RWE4	Sauenstall - Fütterung	98,44%	99,84%
RWE4	Sauenstall - Lüftung	99,16%	99,88%

Anhang B: RWE1

RWE1 SA – Lüftung

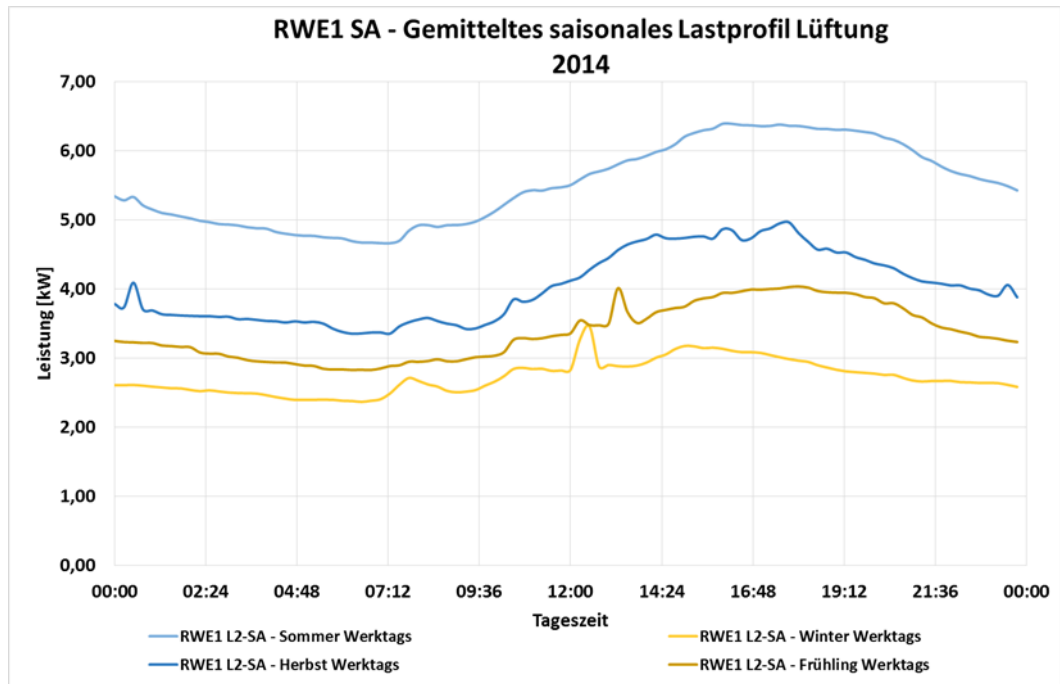


Abbildung 85: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014

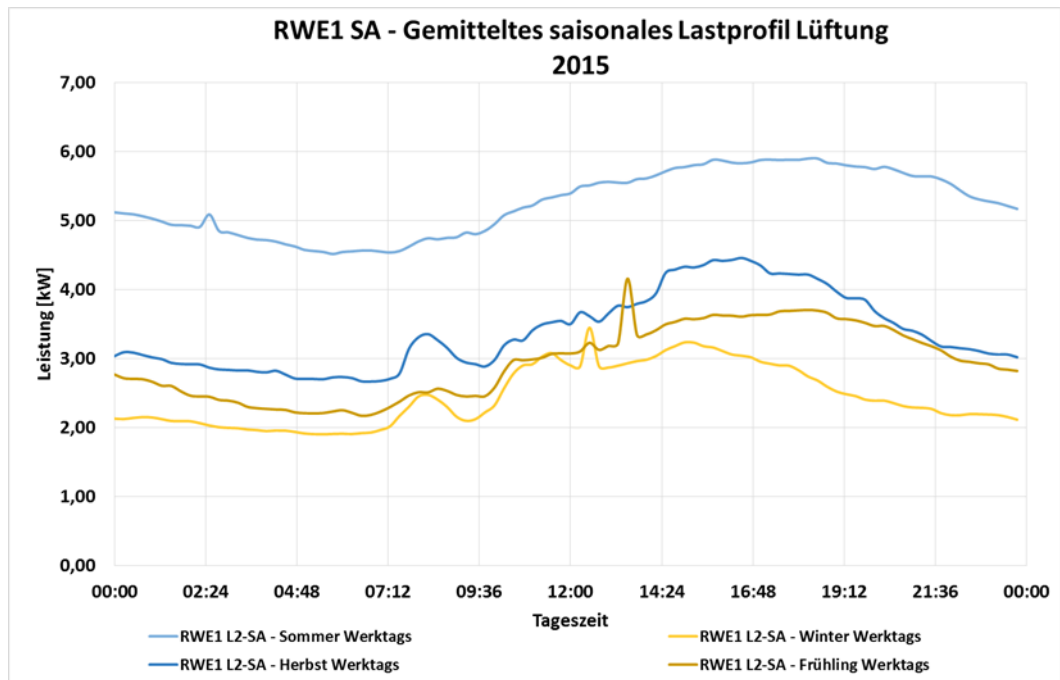


Abbildung 86: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015

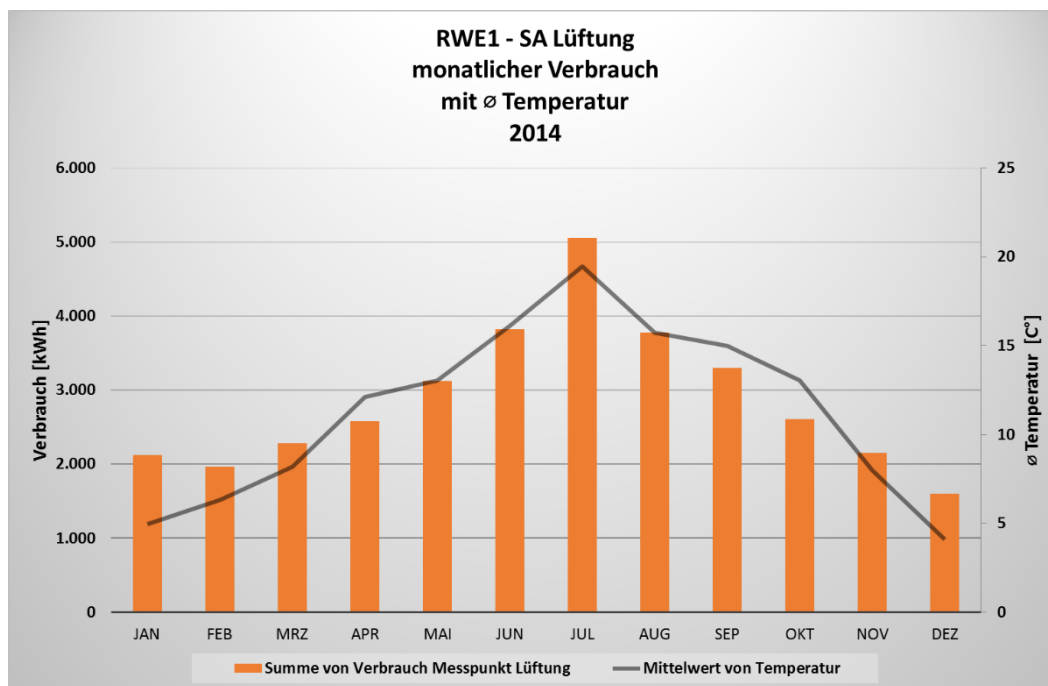


Abbildung 87: RWE1-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014

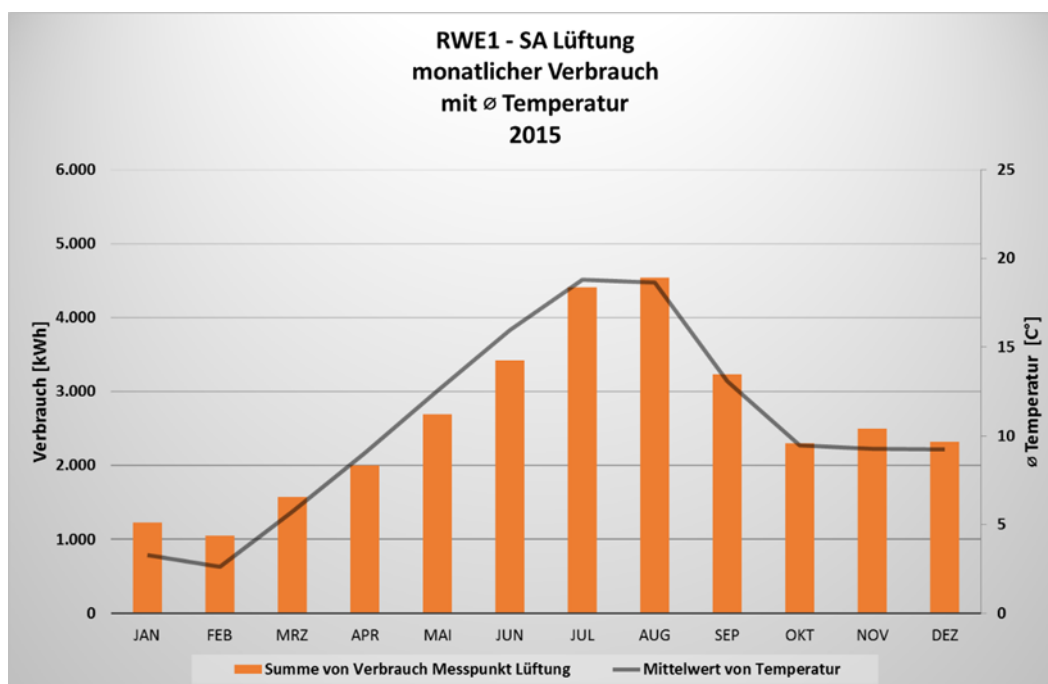


Abbildung 88: RWE1-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015

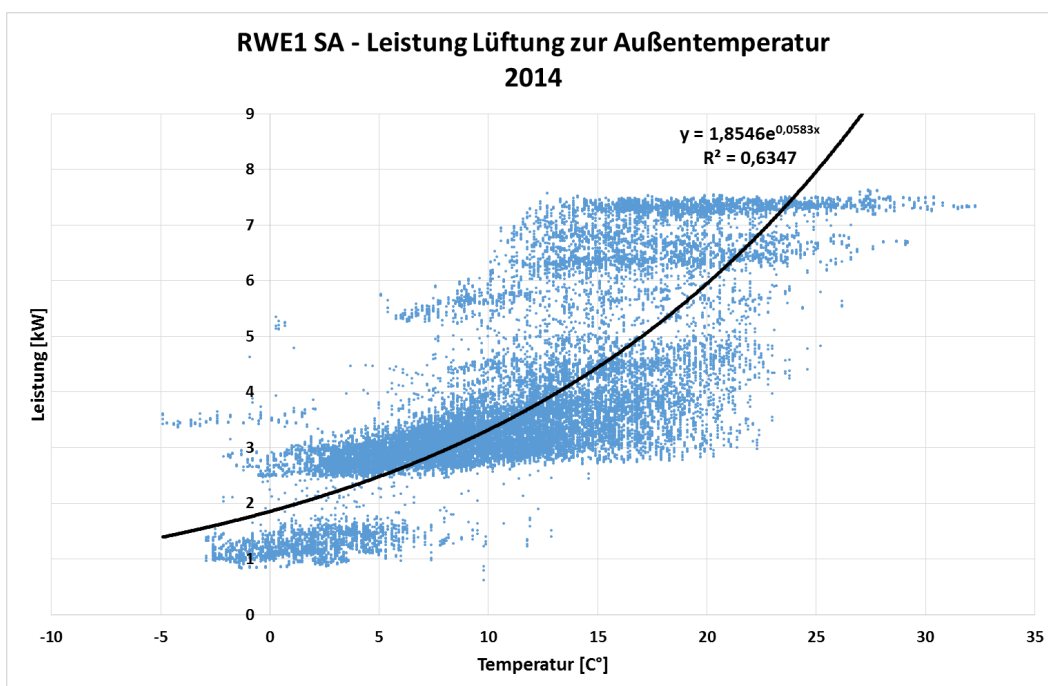


Abbildung 89: RWE1-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014

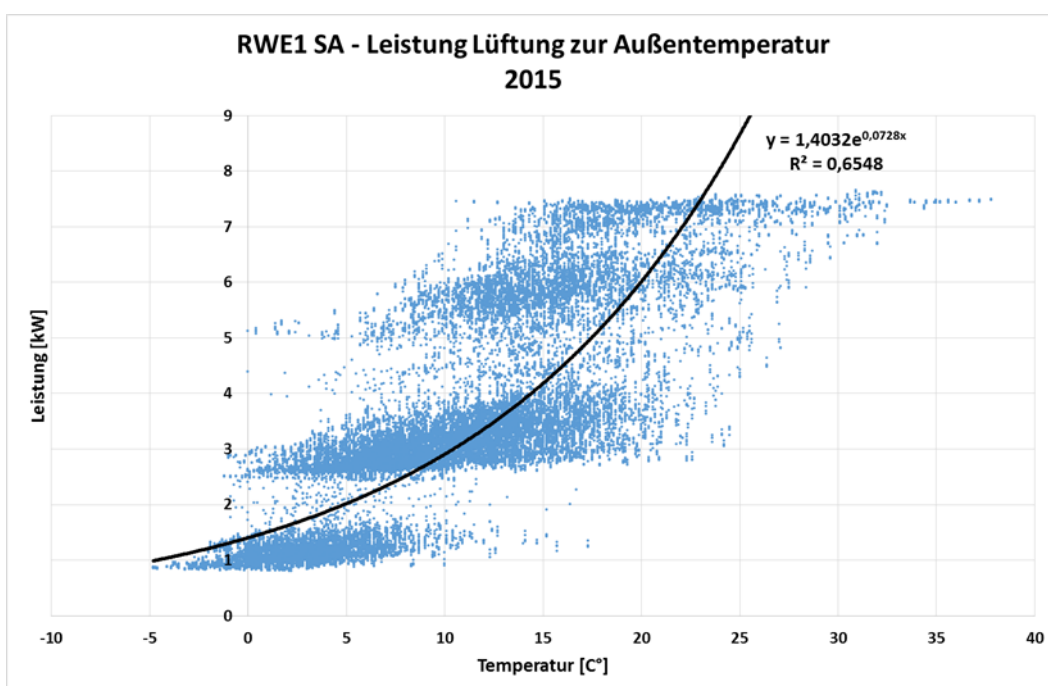


Abbildung 90: RWE1-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015

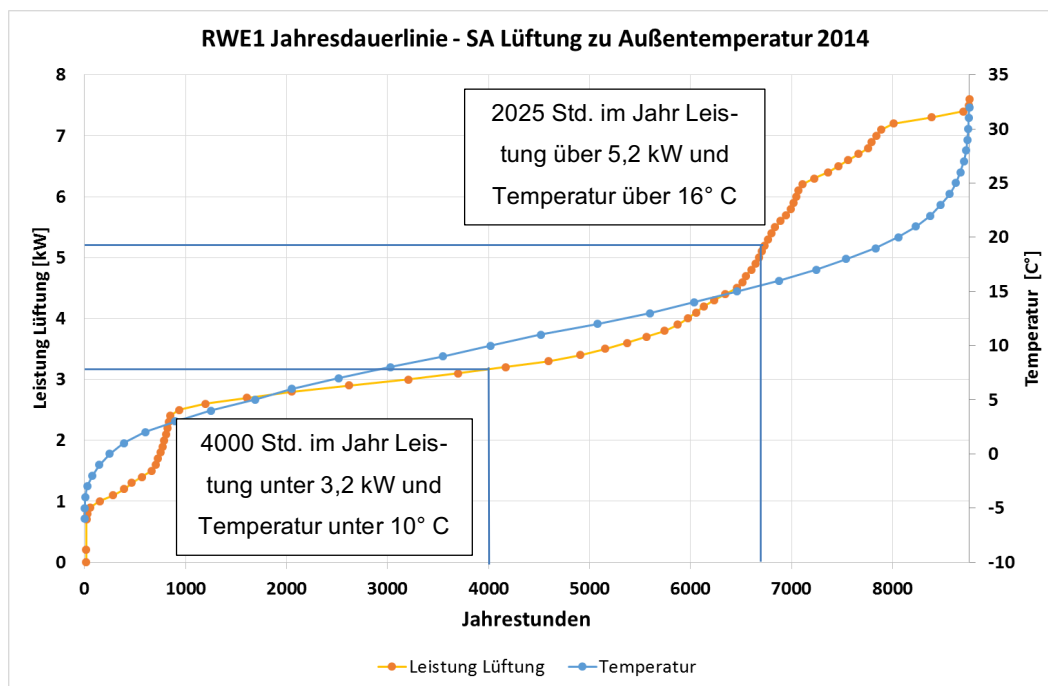


Abbildung 91: RWE1-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2014

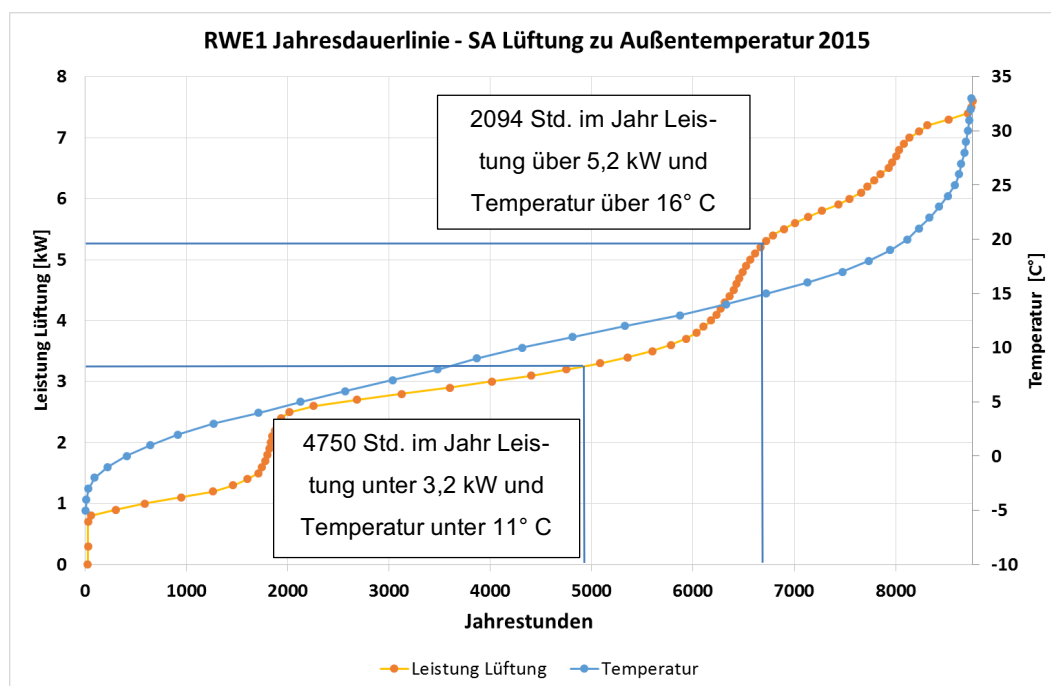
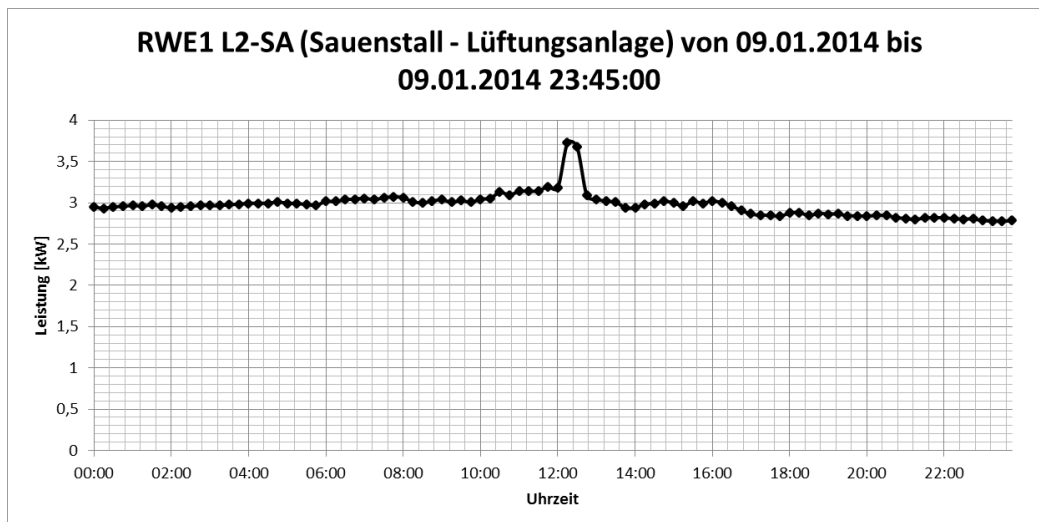


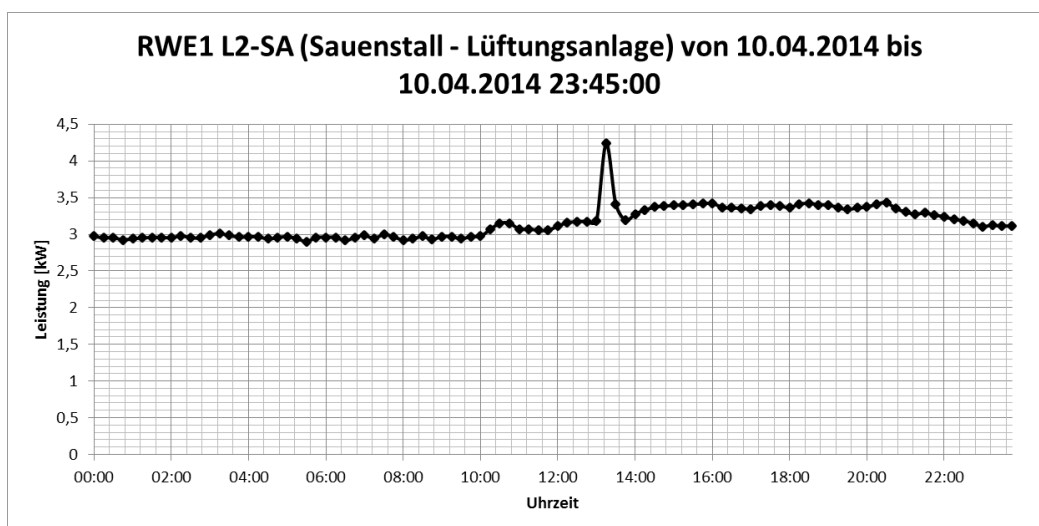
Abbildung 92: RWE1-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2015

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014

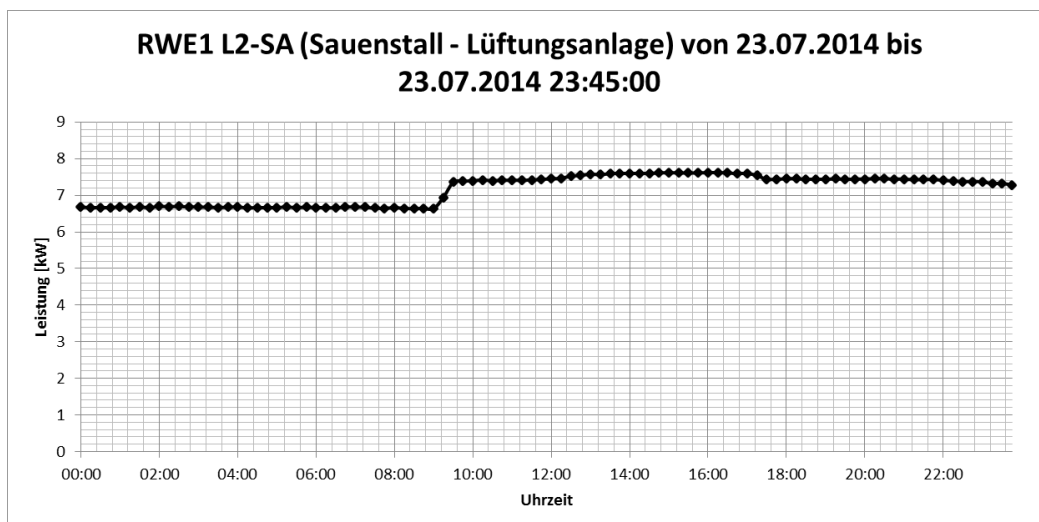
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



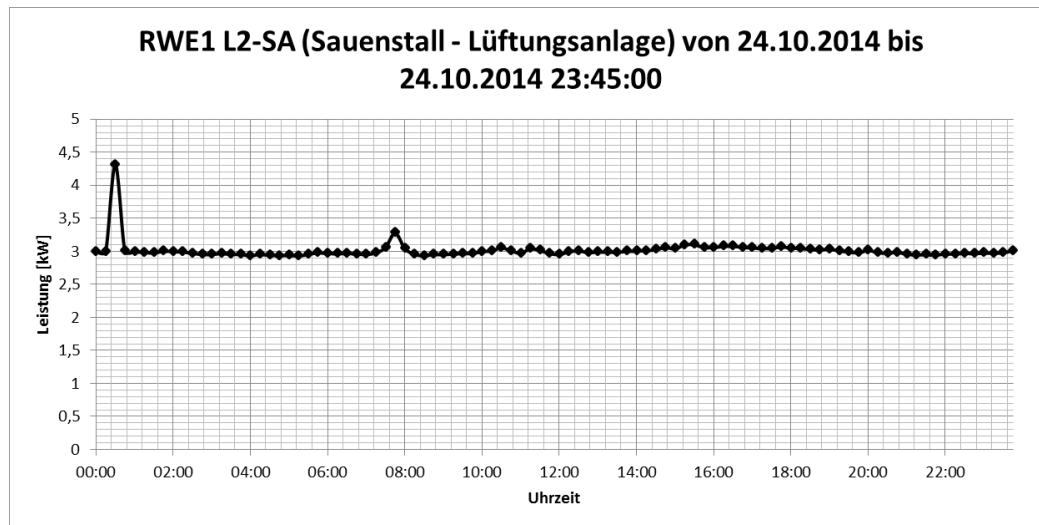
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

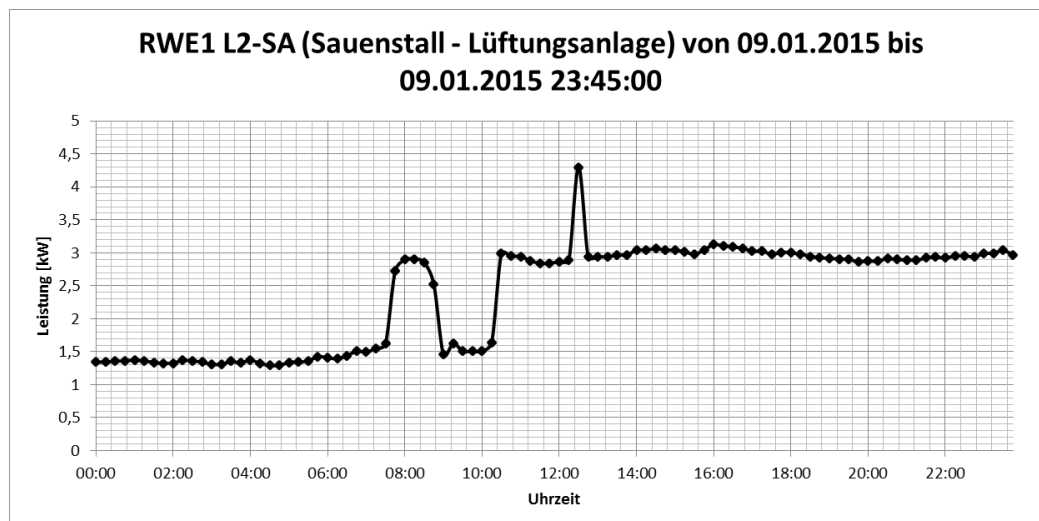


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

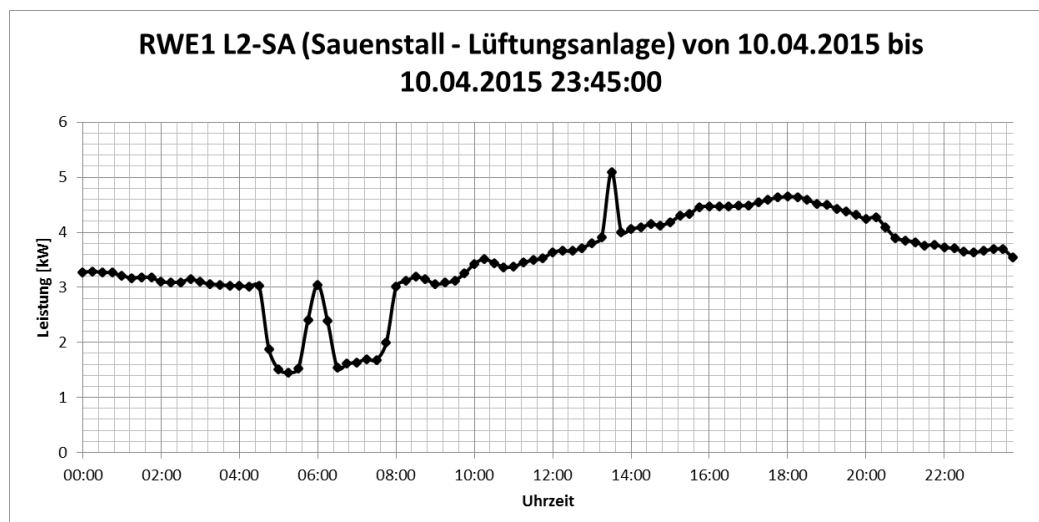


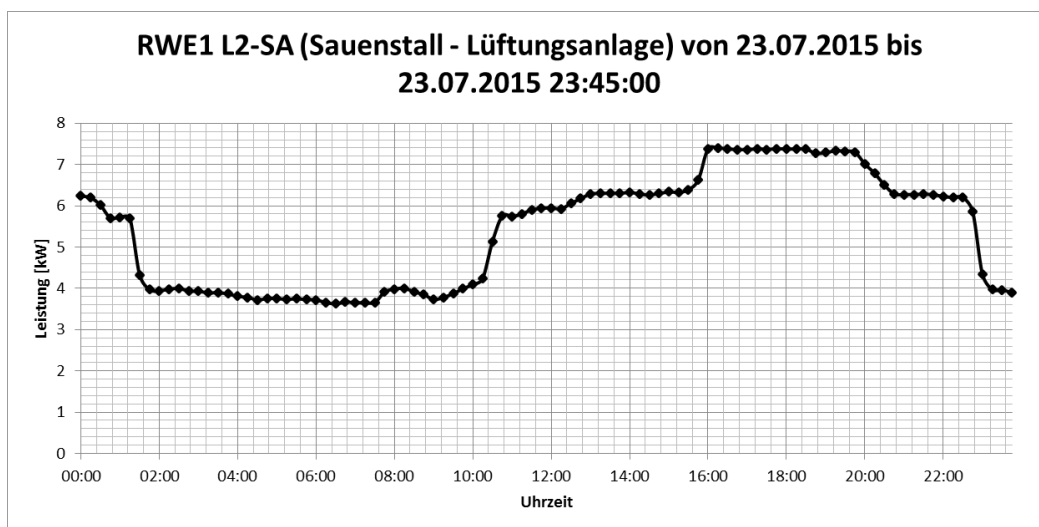
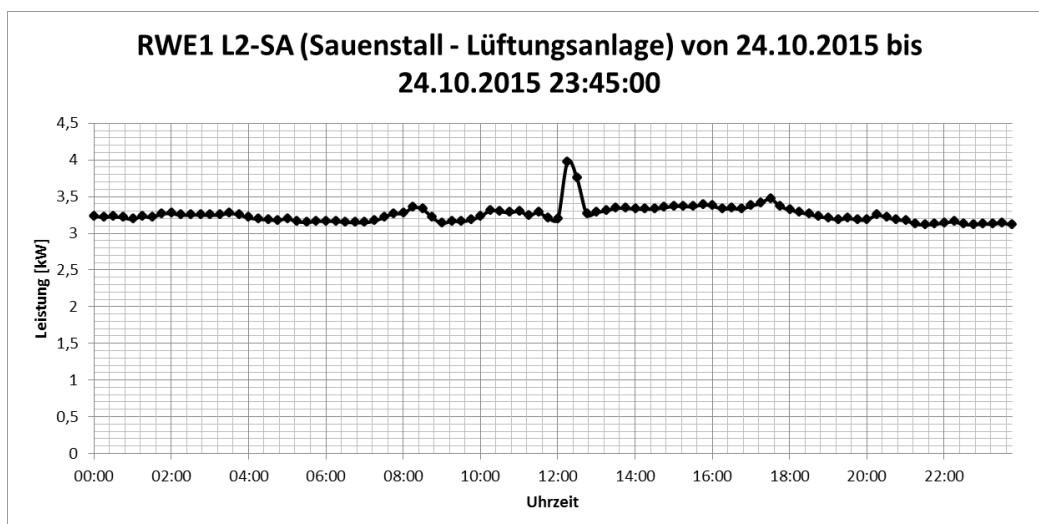
Ausgewählte Messreihen – täglich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE1 SA – Beleuchtung

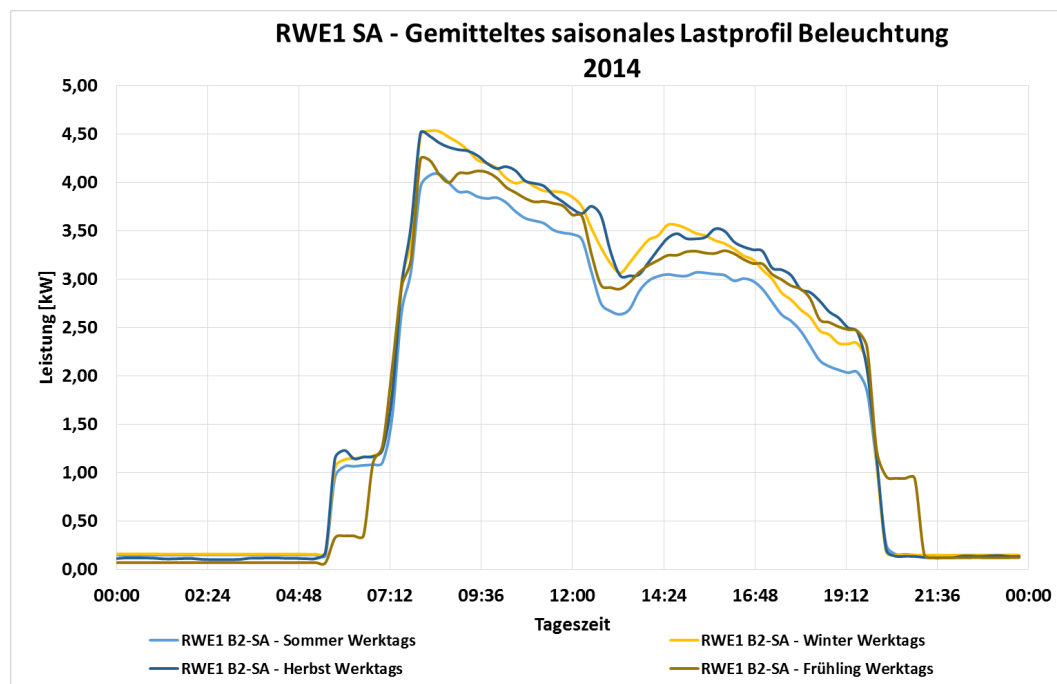


Abbildung 93: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014

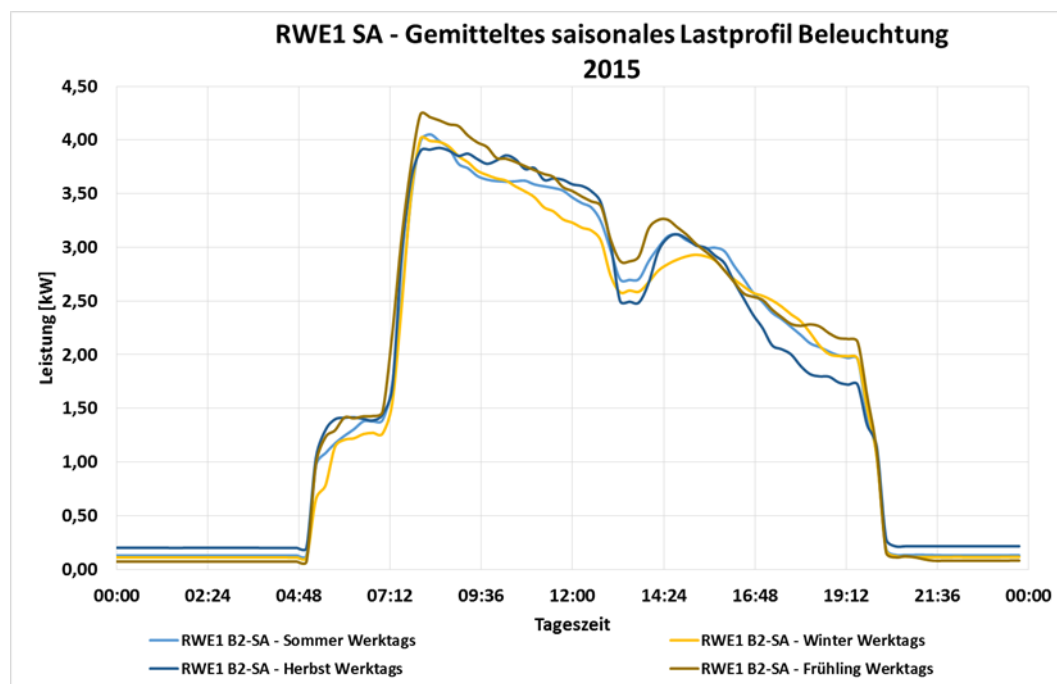


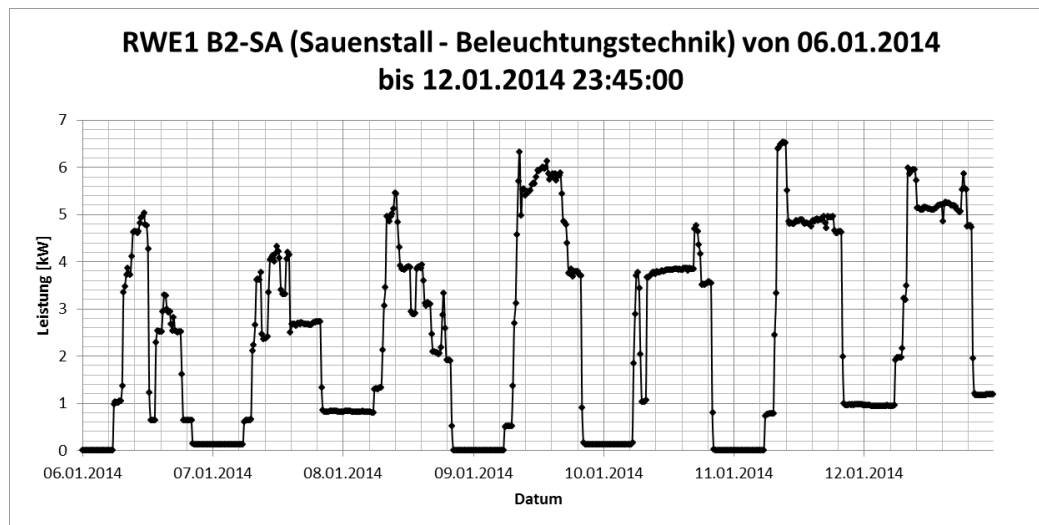
Abbildung 94: RWE1-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015

Tabelle 0.1: RWE1-SA Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbe-
reichen und Jahresstunden 2014

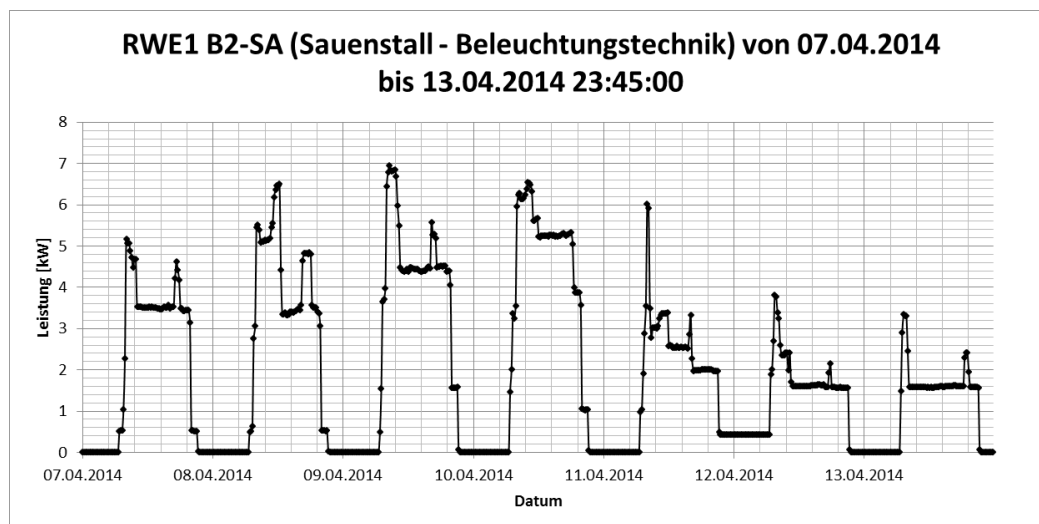
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a
20:30 - 06:30	7204 (7495)	0,00	1801 (1874)
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0 > 0,1	Energie [kWh]	h/a
20:30 - 05:30	307	1,64	77
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 0,1 < 1	Energie [kWh]	h/a
00:00 - 23:45	7326	631,51	1.832
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1 < 2,5	Energie [kWh]	h/a
00:00 - 23:45	8441	3.240,82	2.110
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 2,5 < 4	Energie [kWh]	h/a
05:45 - 20:00	6202	5.061,52	1.551
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 4 < 5	Energie [kWh]	h/a
07:15 - 19:45	2502	2.809,78	626
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 5 < 6	Energie [kWh]	h/a
08:00 - 19:15	1946	2.643,14	487
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 6 < 7	Energie [kWh]	h/a
08:00 - 17:45	808	1281,18	202
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 7	Energie [kWh]	h/a
08:00 - 11:45	14	22,98	4
Summe		15.693	8.760

Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2014

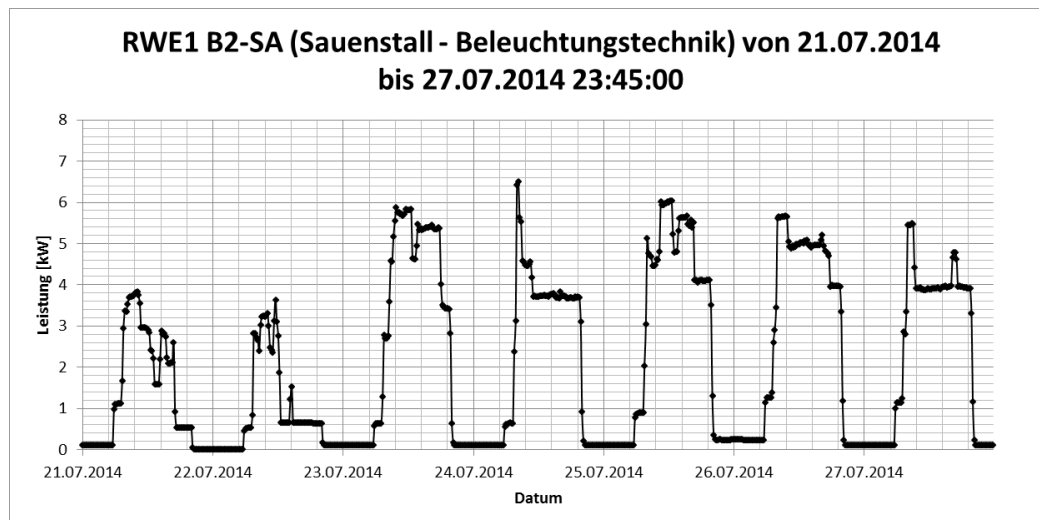
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



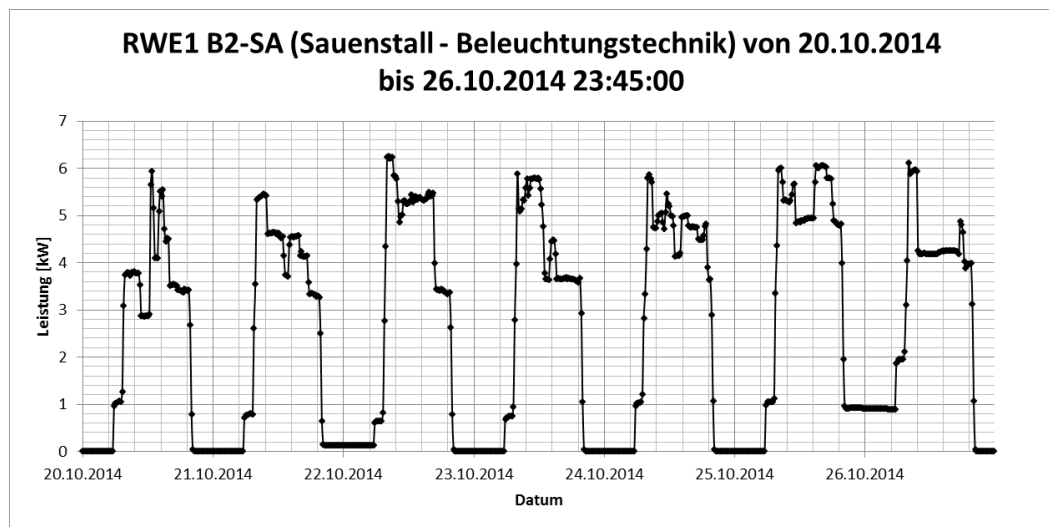
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

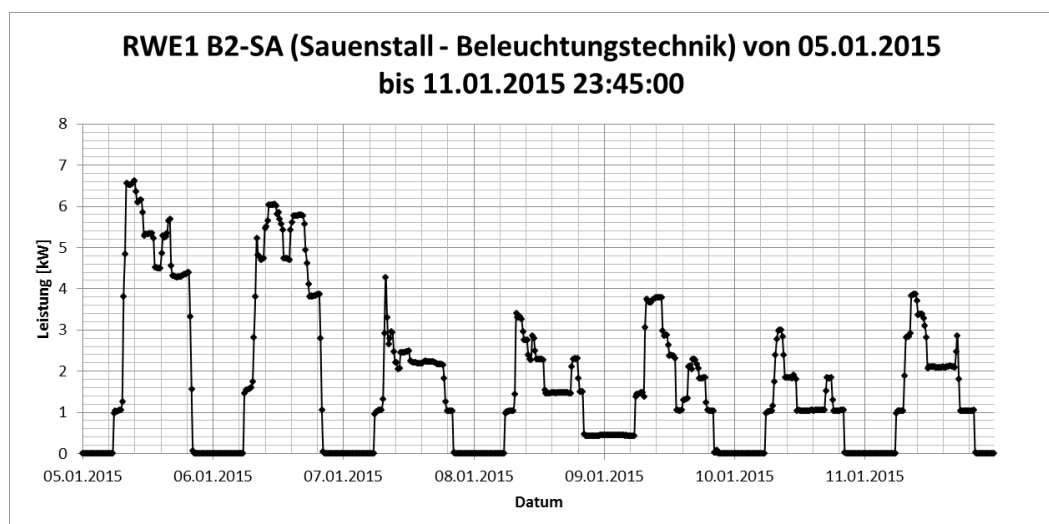


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

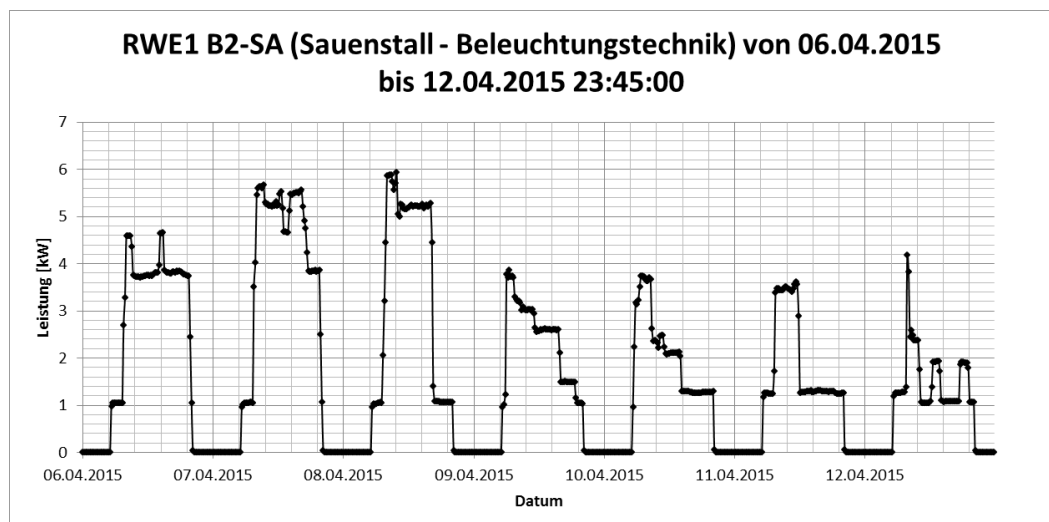


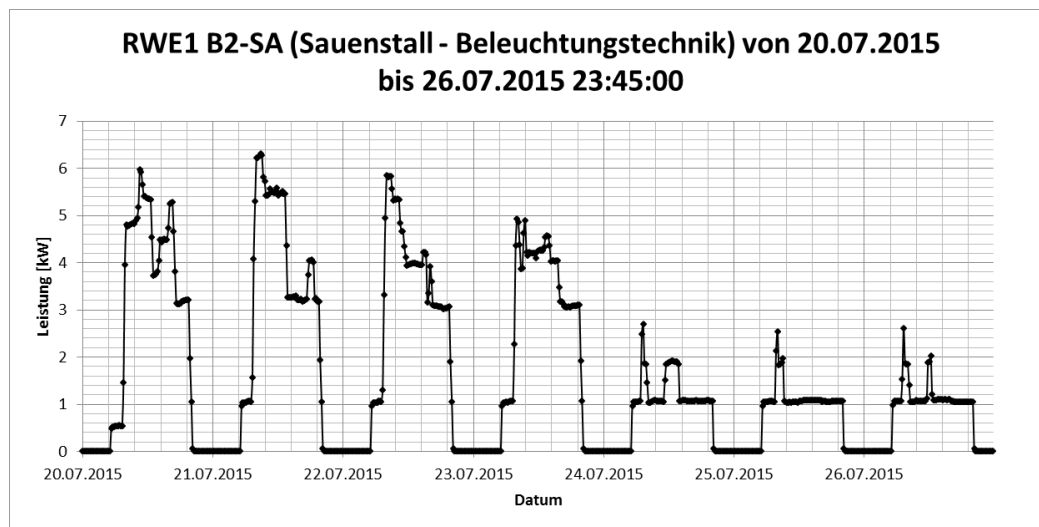
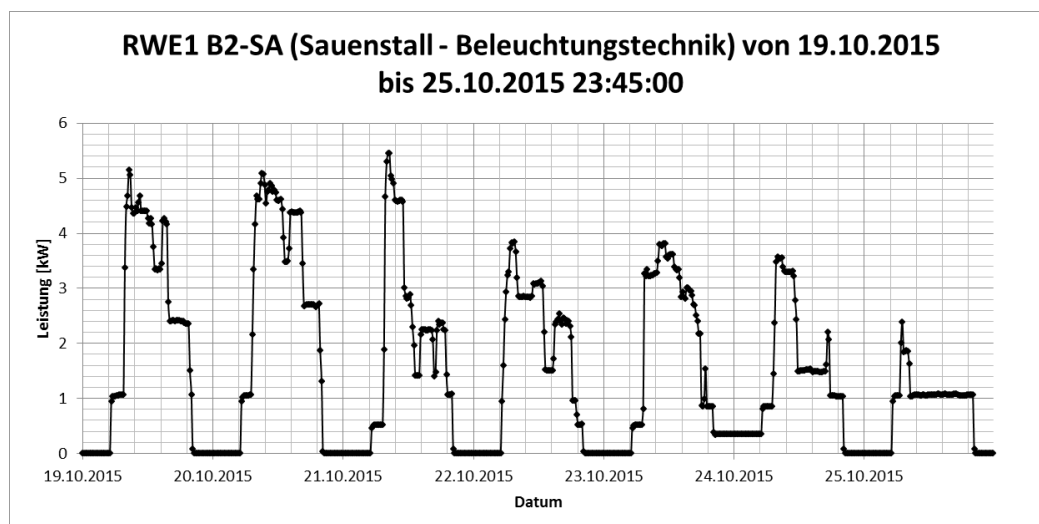
Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE1 SA – Rotlicht im Deckzentrum

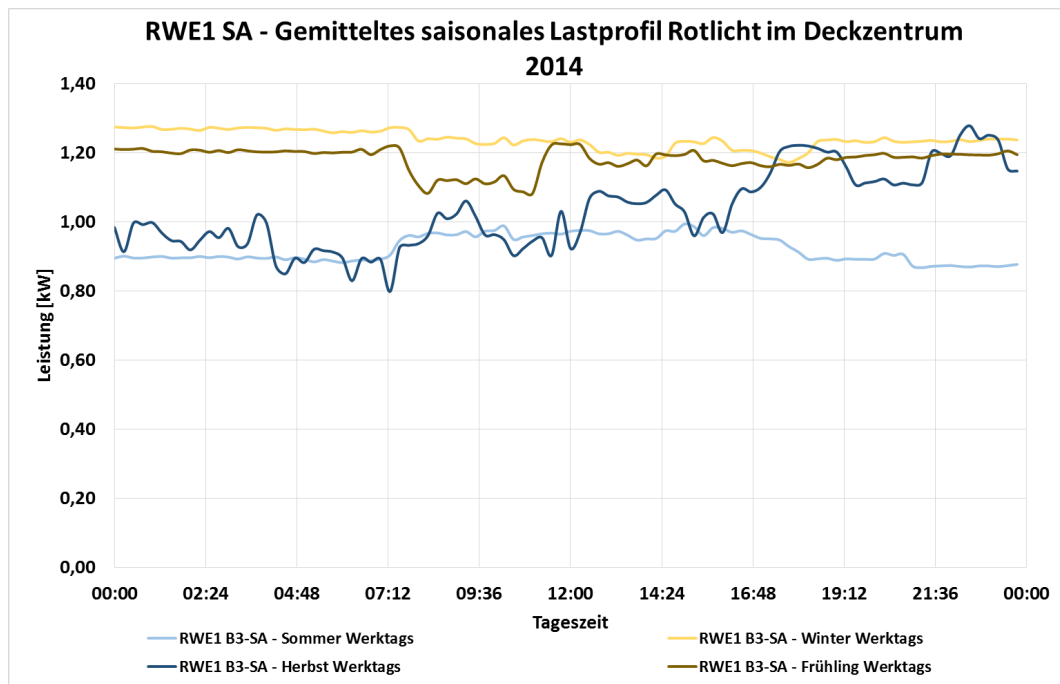


Abbildung 95: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Rotlicht im Deckzentrum
2014

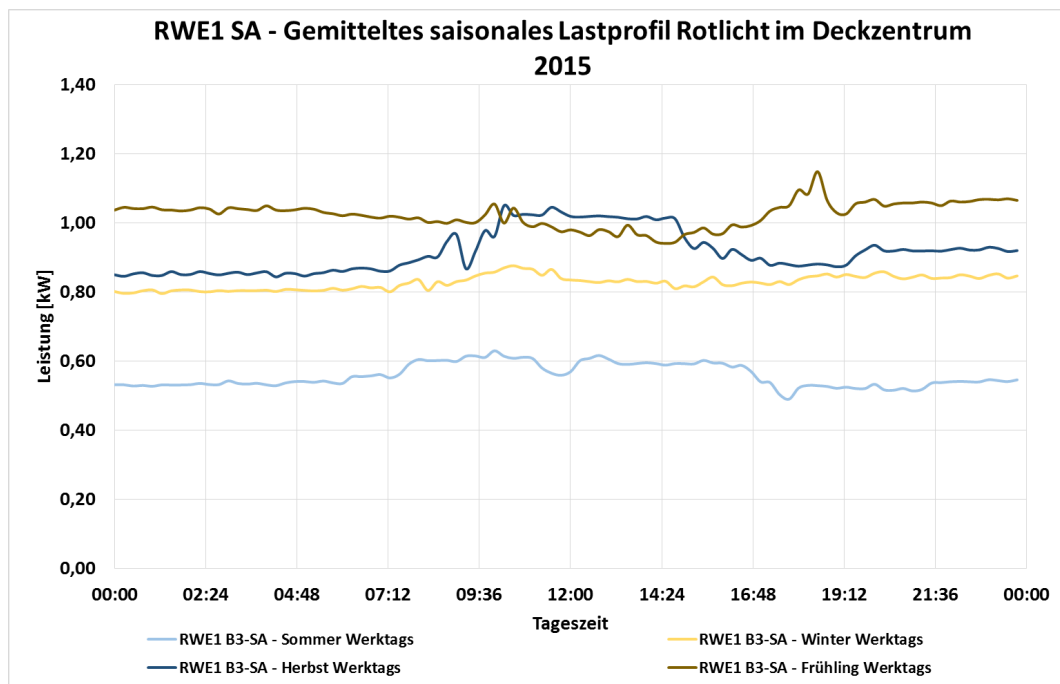


Abbildung 96: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Rotlicht im Deckzentrum
2015 im Vergleich mit Messtagen

RWE1 SA - Fütterung

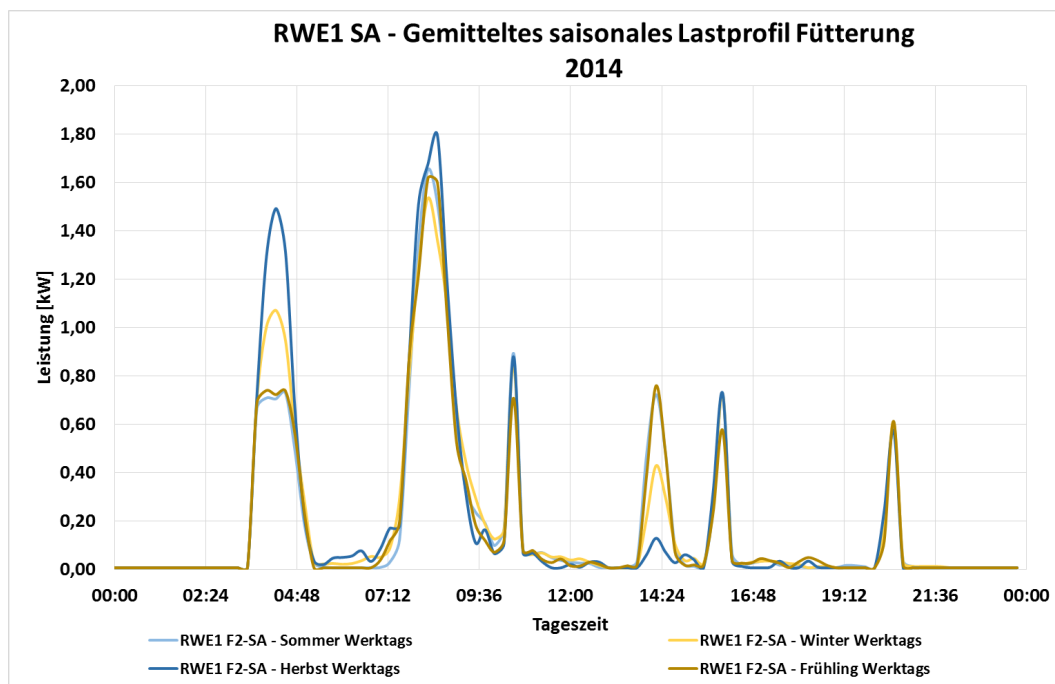


Abbildung 97: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014

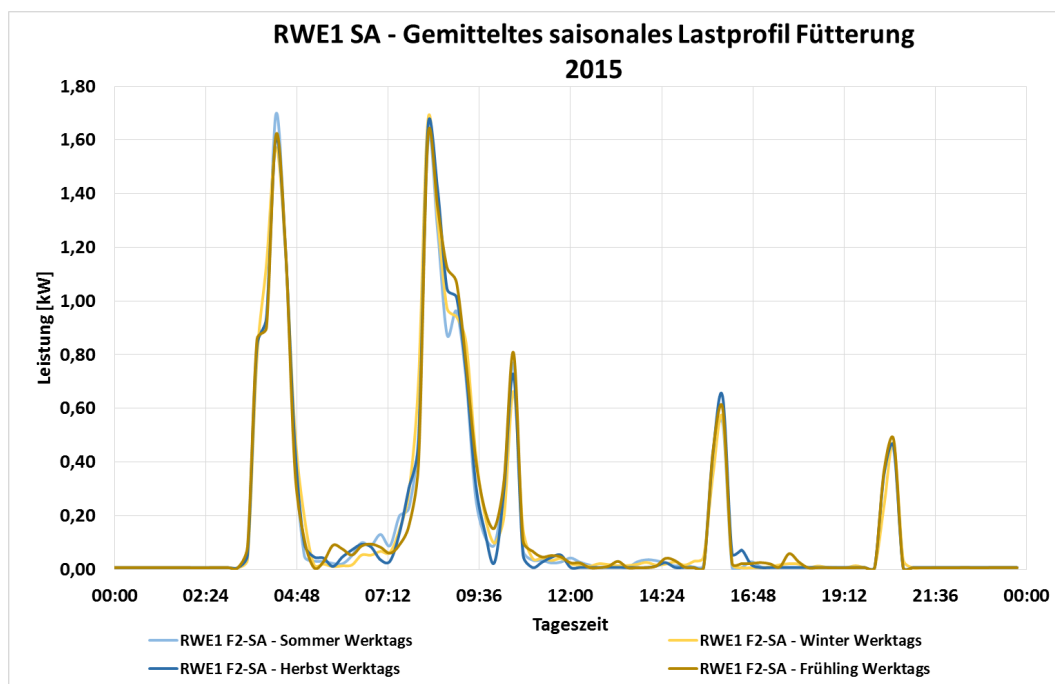


Abbildung 98: RWE1 SA – Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015

RWE1 FE – Lüftung

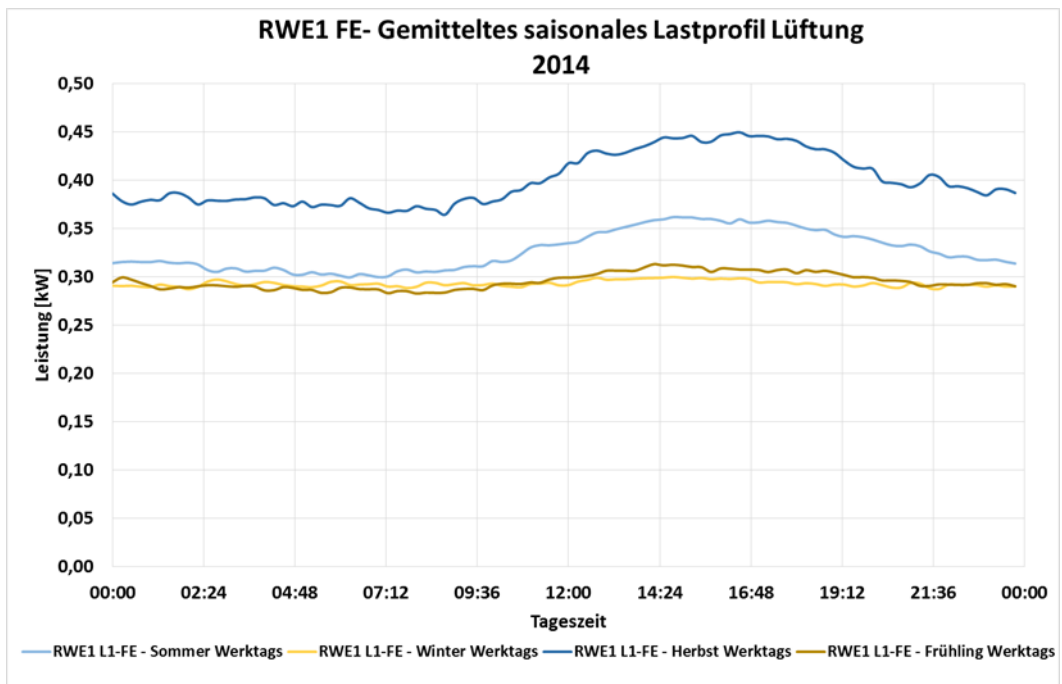


Abbildung 99: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014

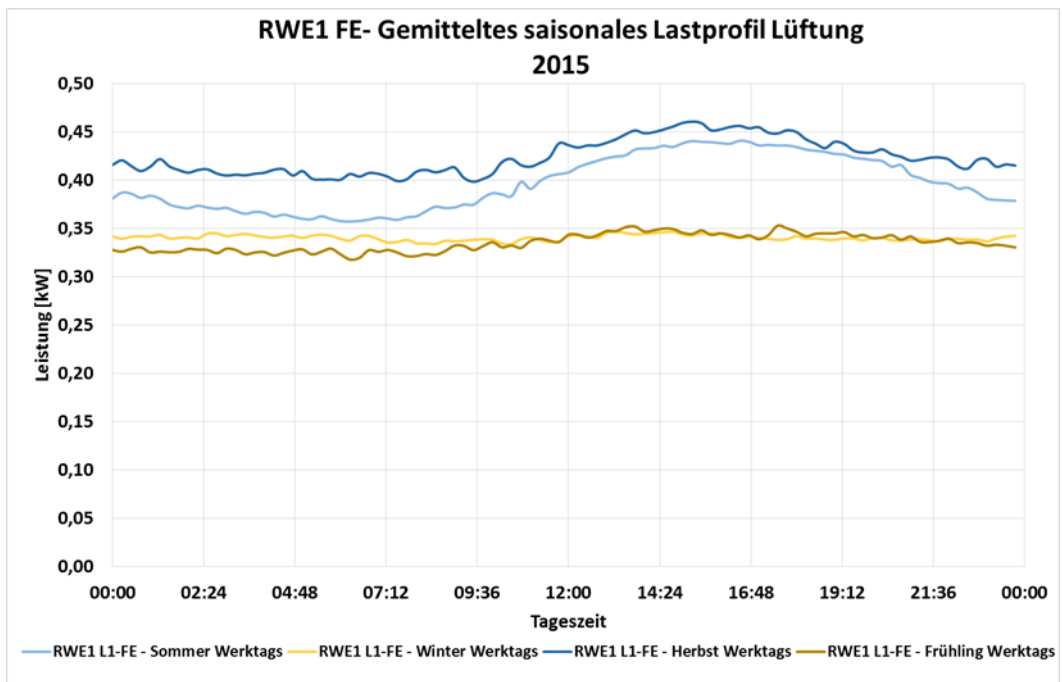


Abbildung 100: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015

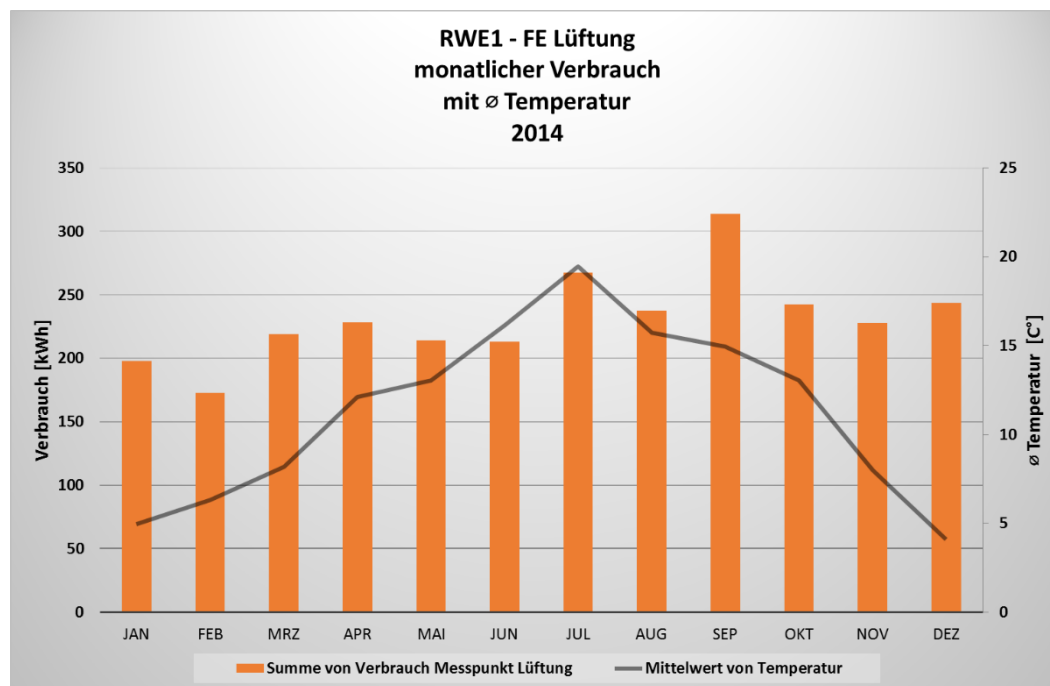


Abbildung 101: RWE1-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014

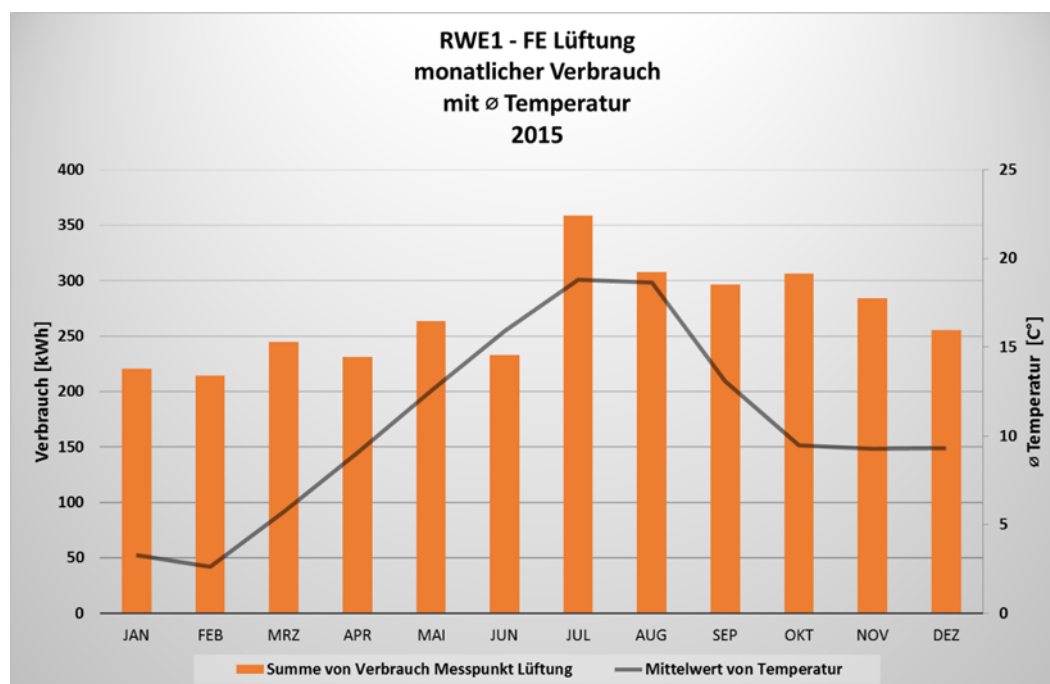


Abbildung 102: RWE1-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015

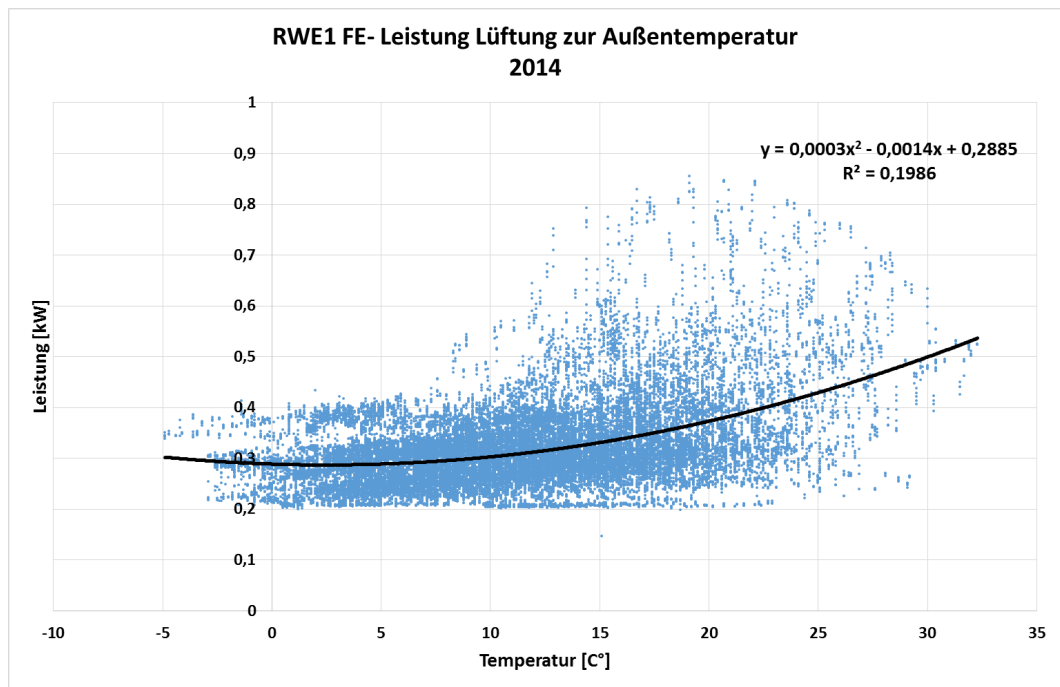


Abbildung 103: RWE1-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014

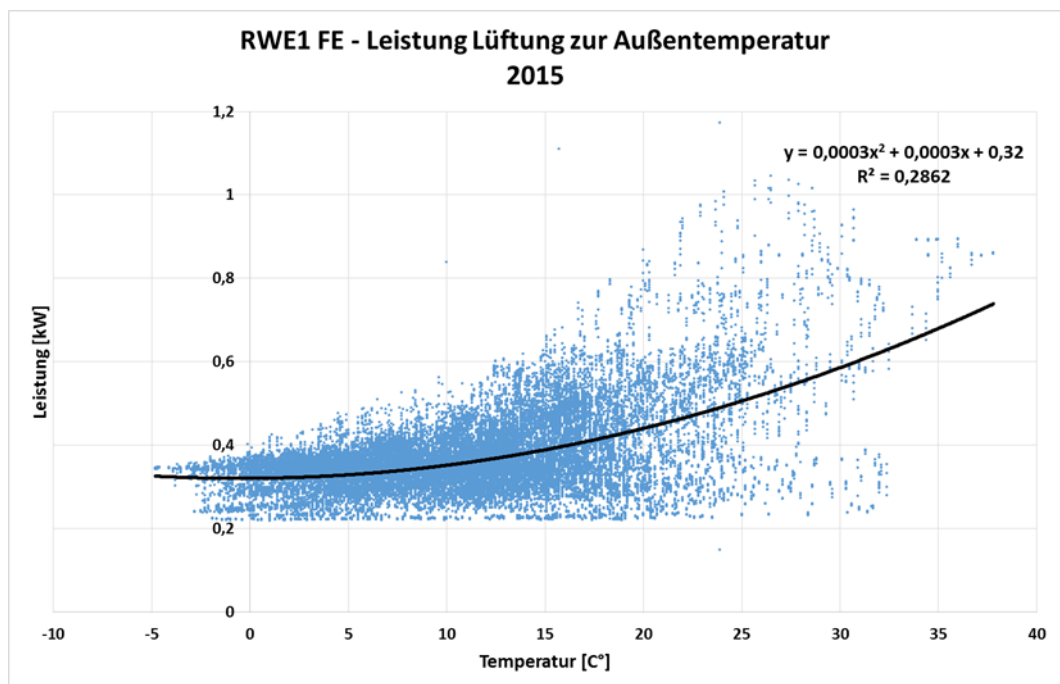


Abbildung 104: RWE1-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015

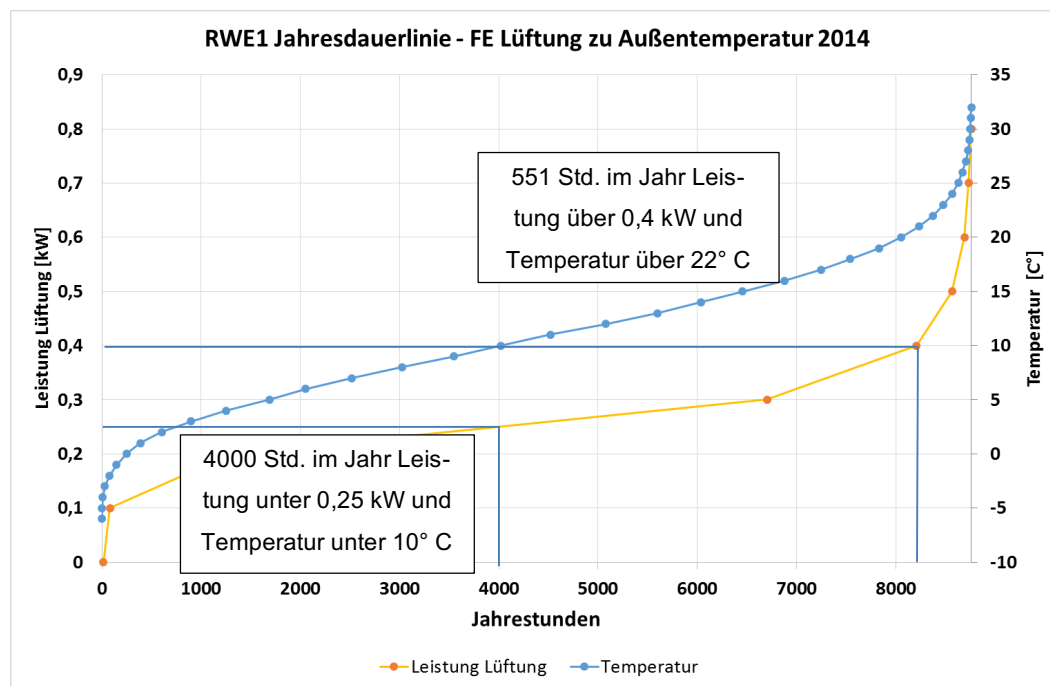


Abbildung 105: RWE1-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2014

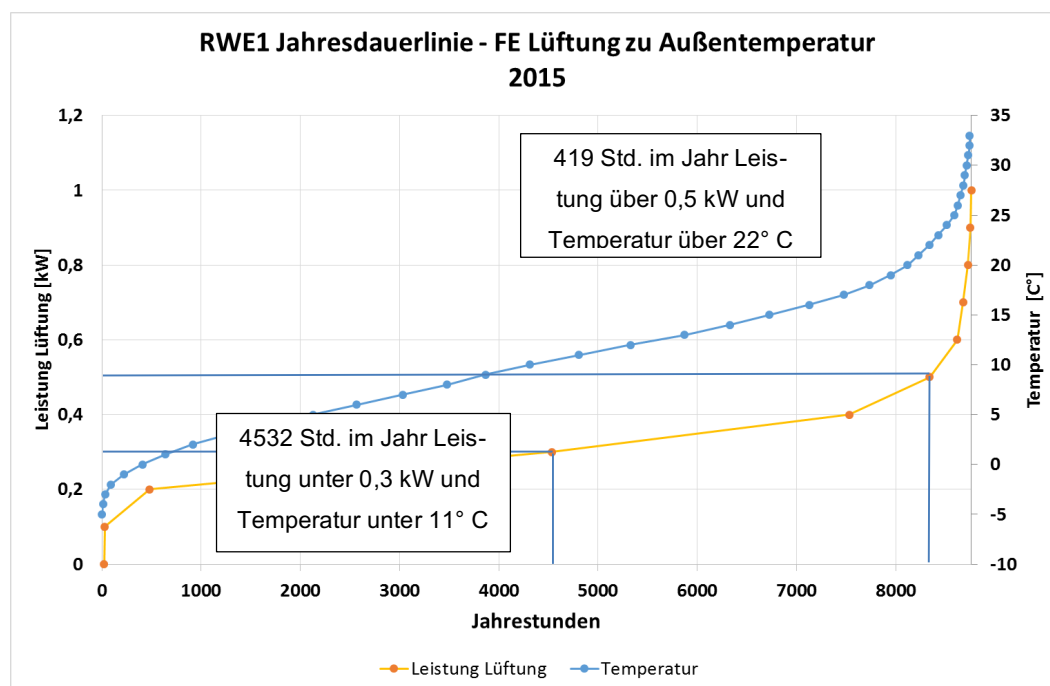
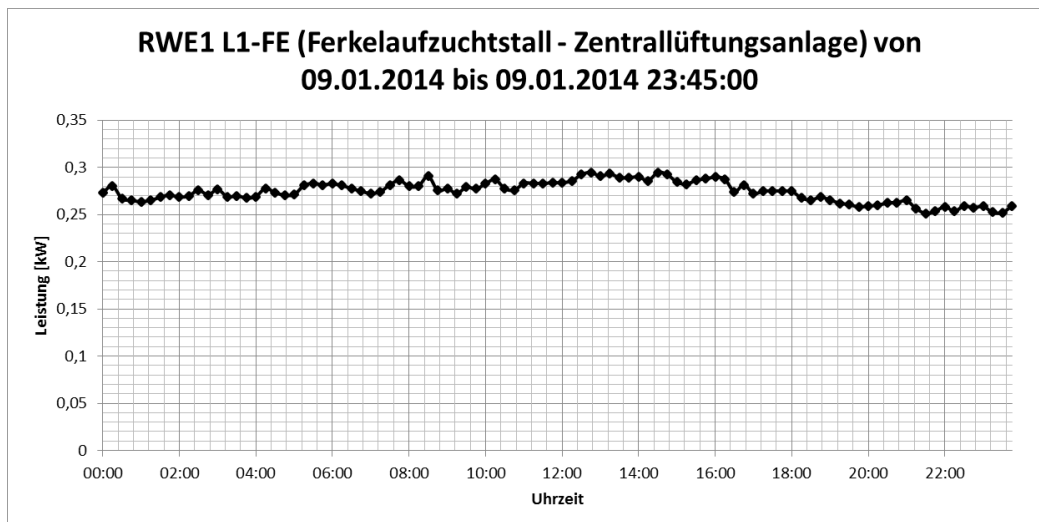


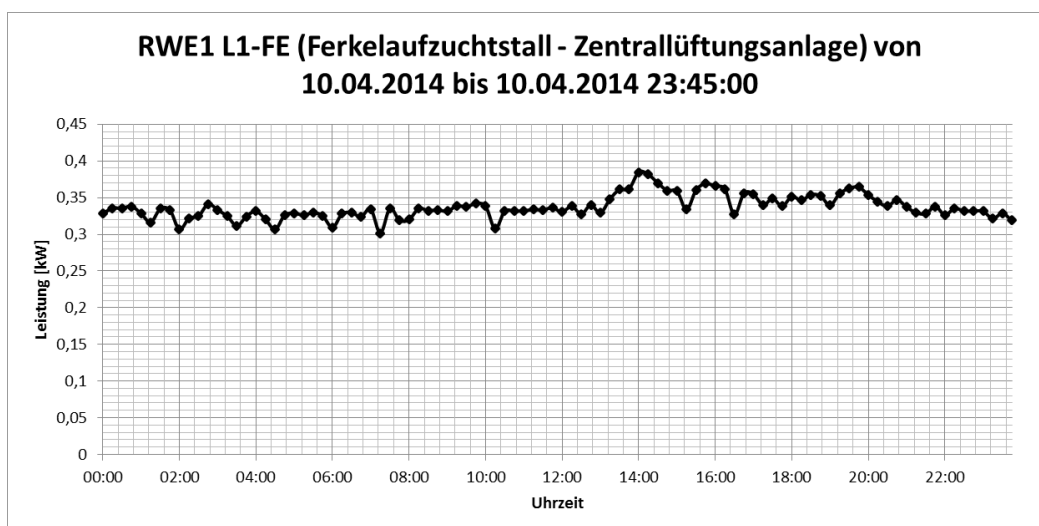
Abbildung 106: RWE1-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2015

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014

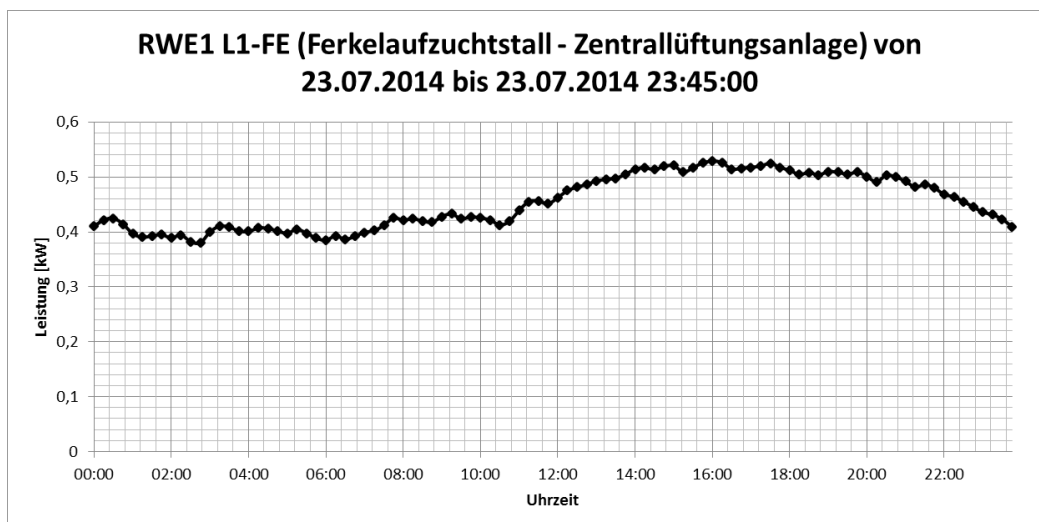
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



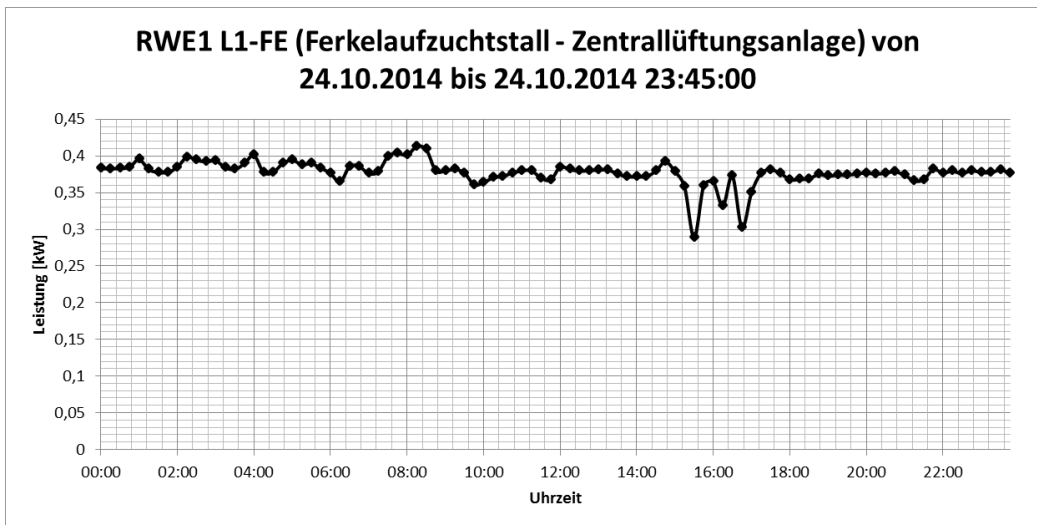
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

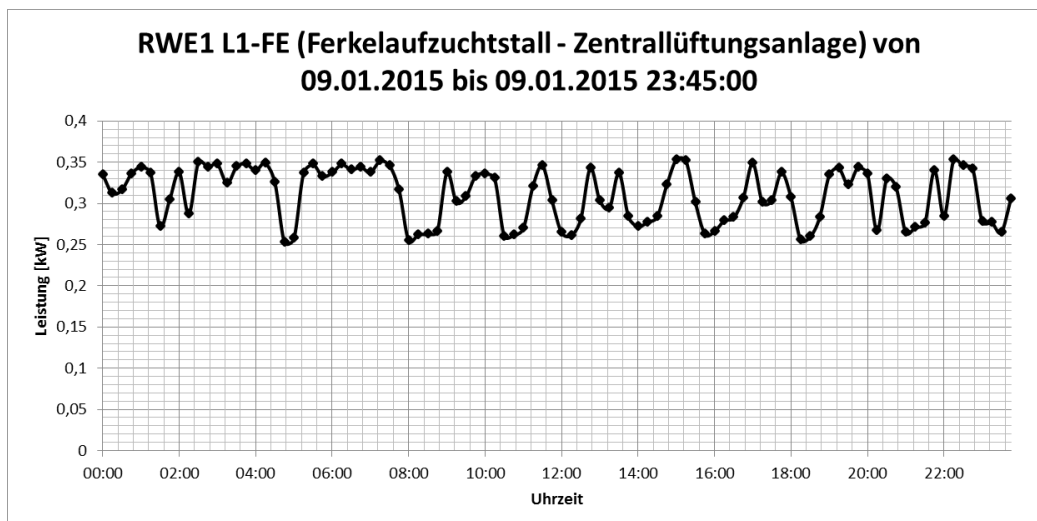


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

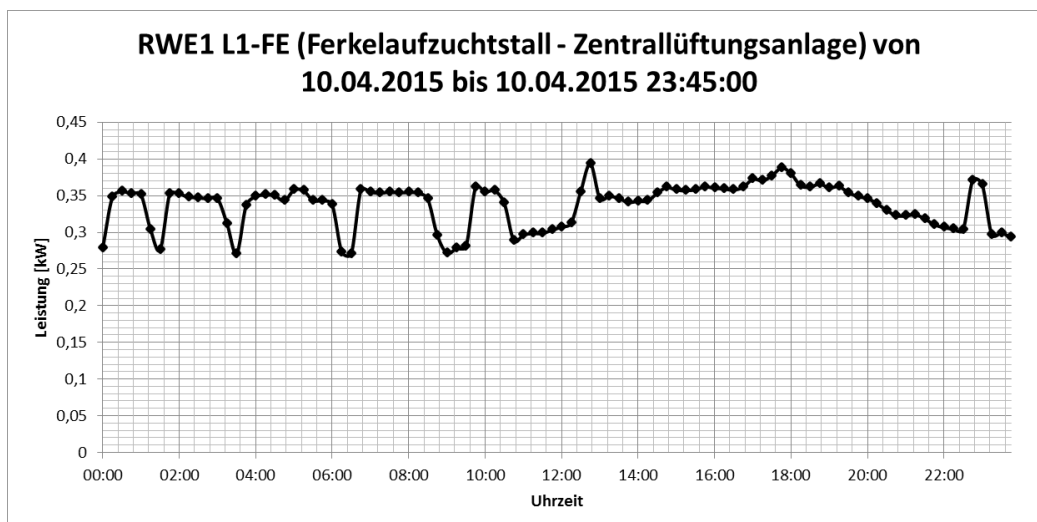


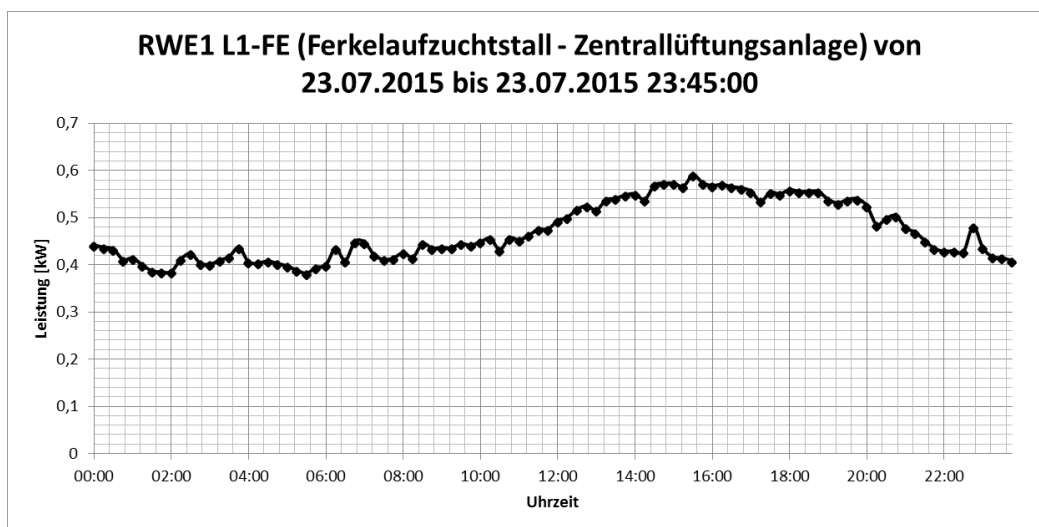
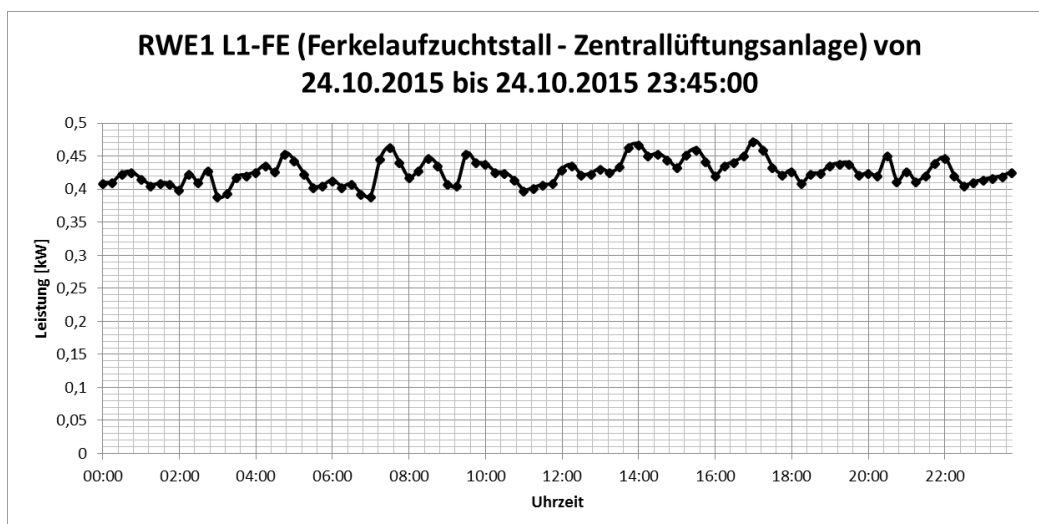
Ausgewählte Messreihen – täglich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE1 FE – Beleuchtung

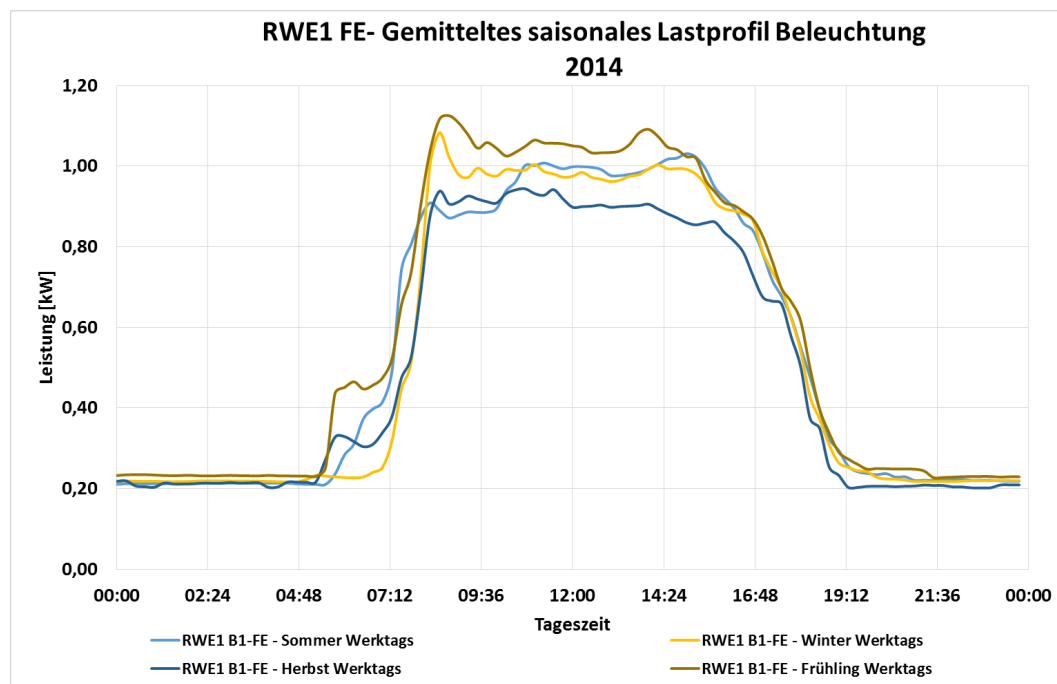


Abbildung 107: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014

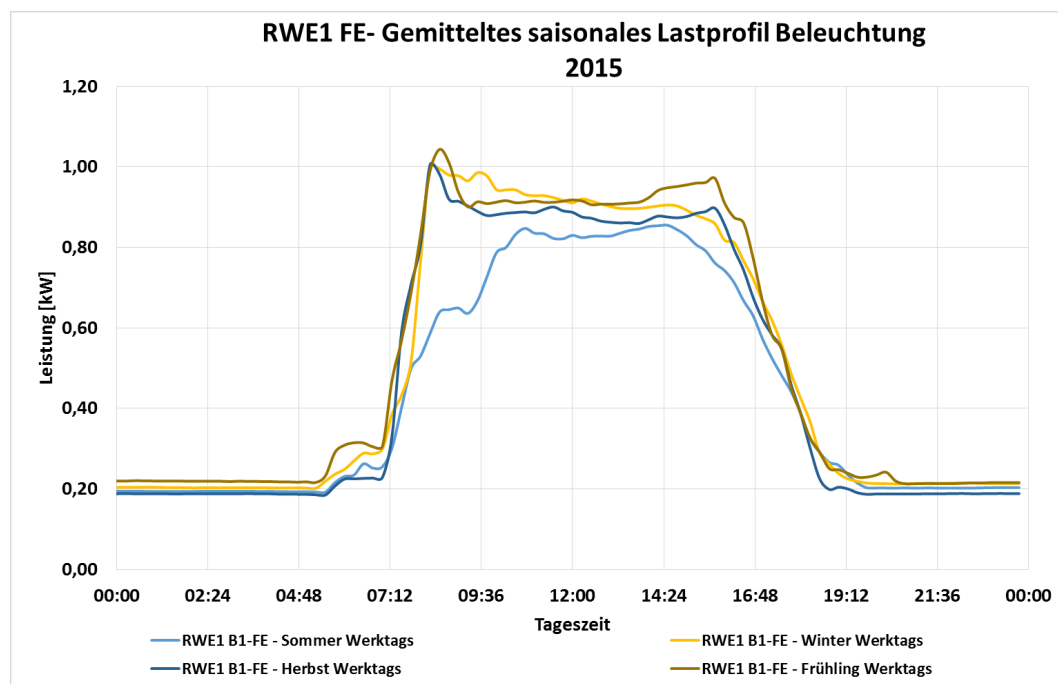


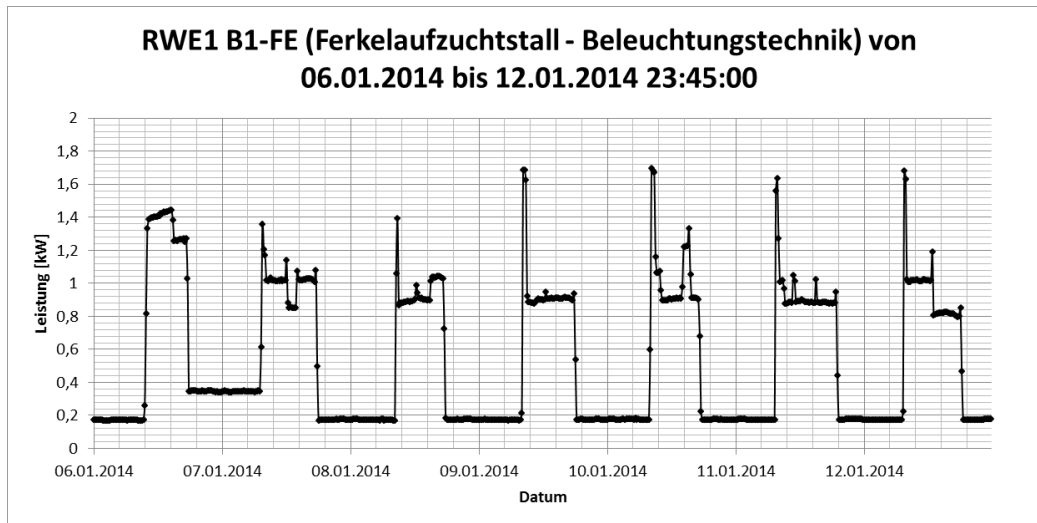
Abbildung 108: RWE1-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015

Tabelle 0.2: RWE1-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbe-
reichen und Jahresstunden 2014

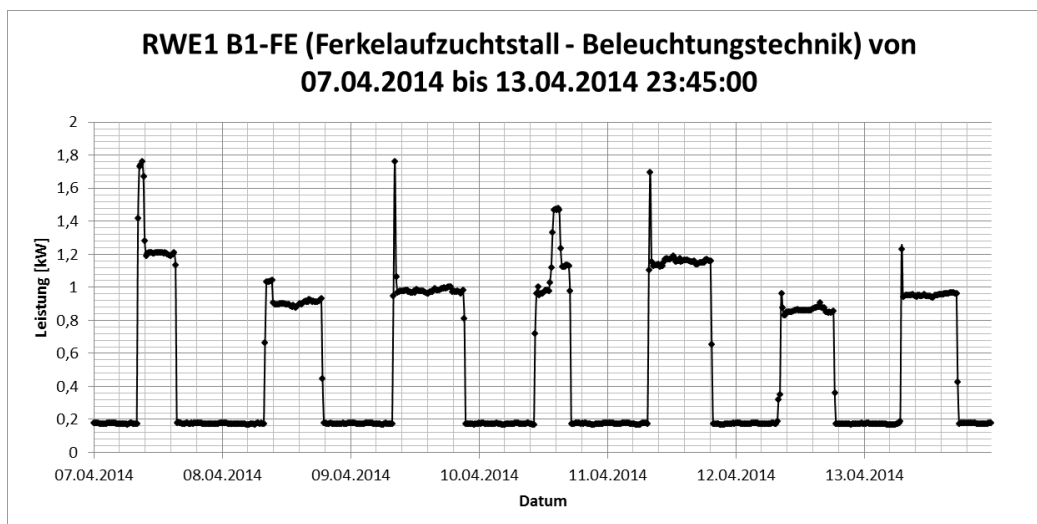
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a
00:00 - 23:45	160 (462)	0,00	40 (115,5)
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0 > 0,1	Energie [kWh]	h/a
17:15 - 18:30	4	0,0675	1
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 0,1 < 0,3	Energie [kWh]	h/a
00:00 - 23:45	17849	788,12	4.462
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,3 > 1	Energie [kWh]	h/a
00:00 - 23:45	11799	2194,71	2.950
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1 < 1,5	Energie [kWh]	h/a
05:30 - 19:15	4159	1.244,25	1.040
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1,5 < 2	Energie [kWh]	h/a
05:15 - 18:15	767	315,52	192
Summe		4.543	8.760

Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2014

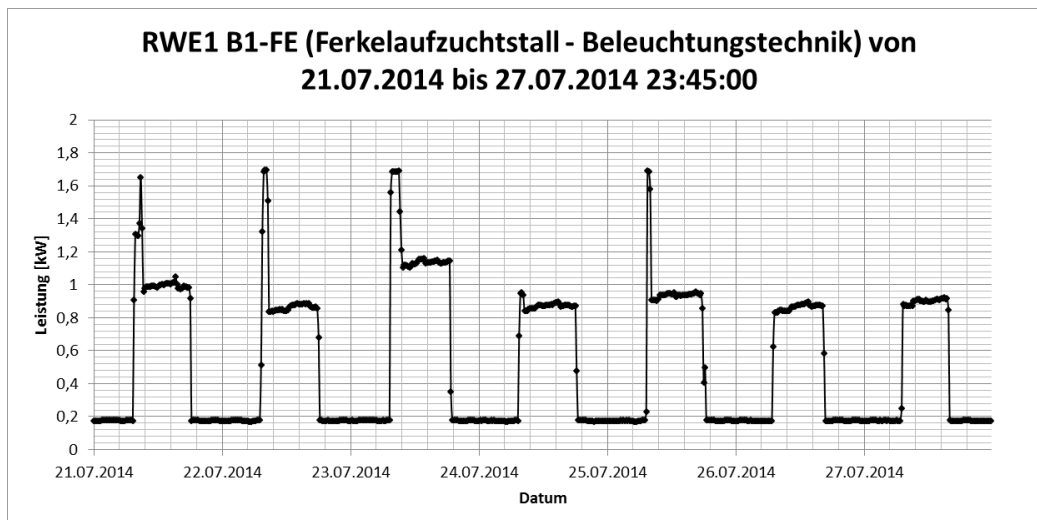
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



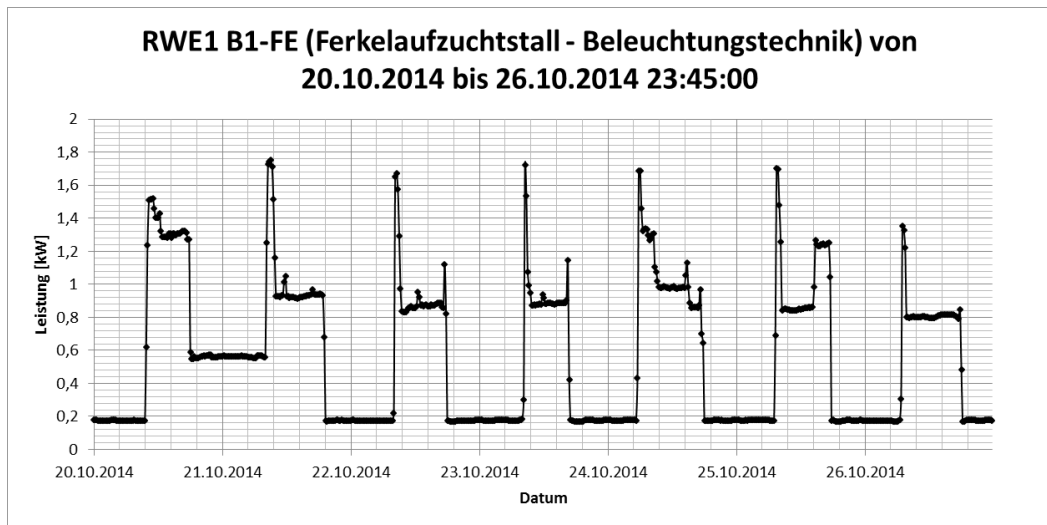
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

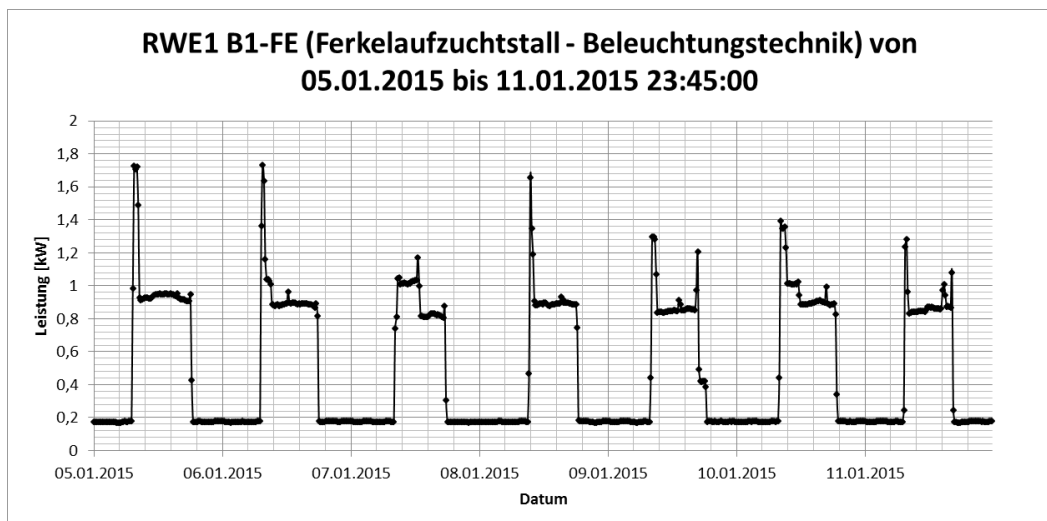


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

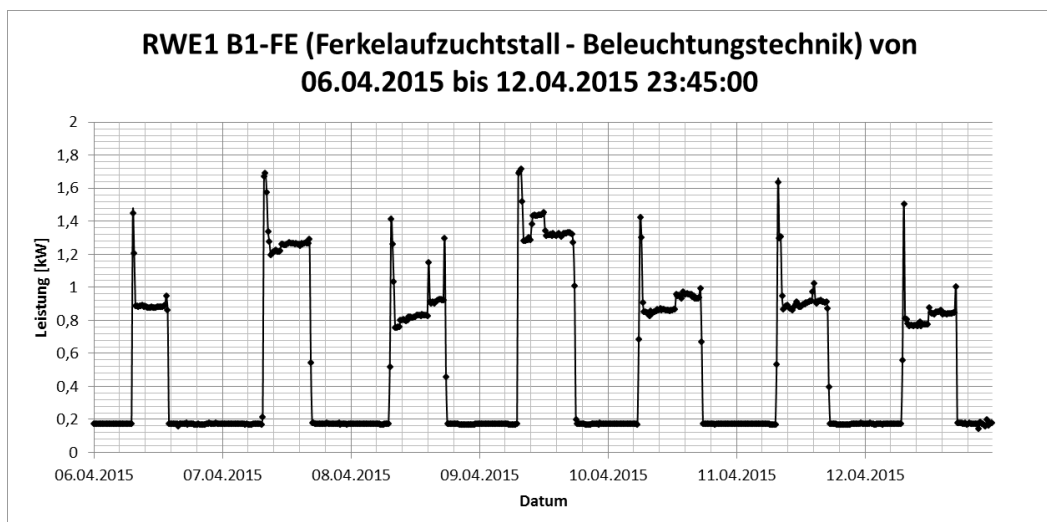


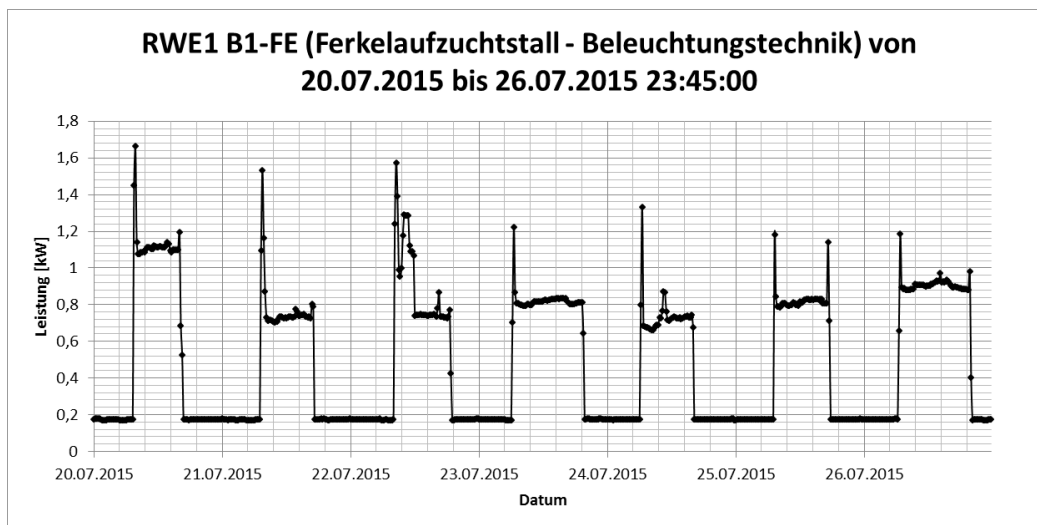
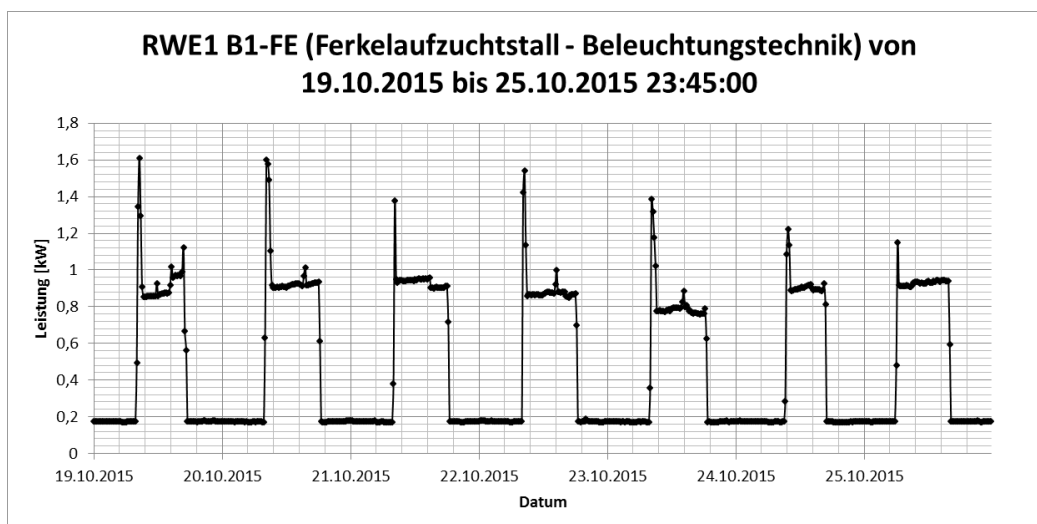
Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE1 FE – Fütterung

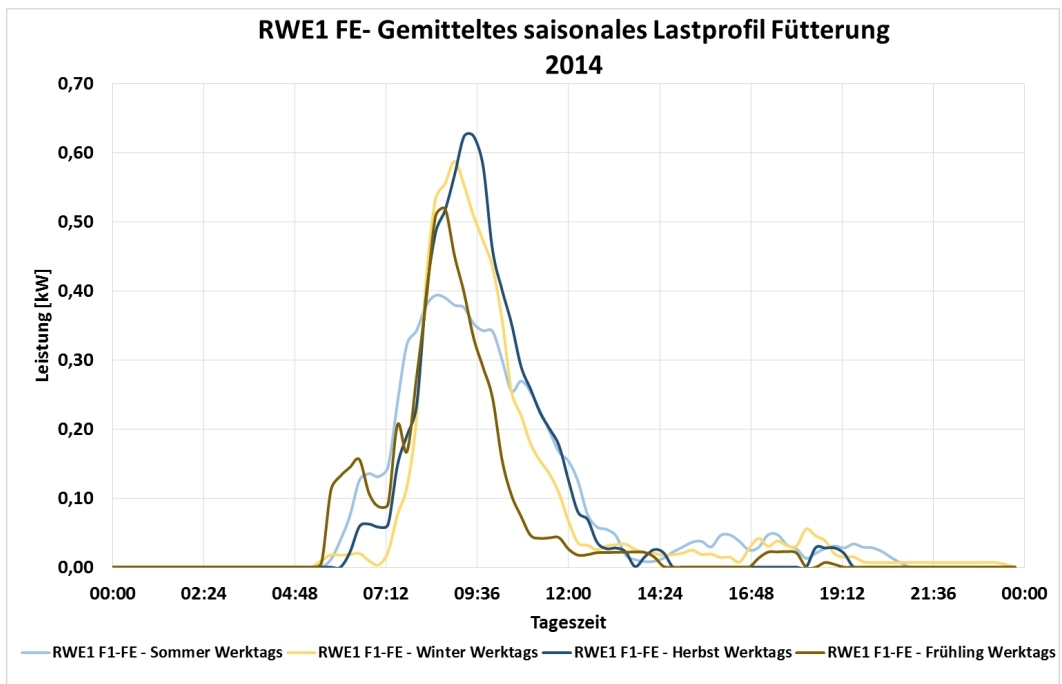


Abbildung 109: RWE1-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014

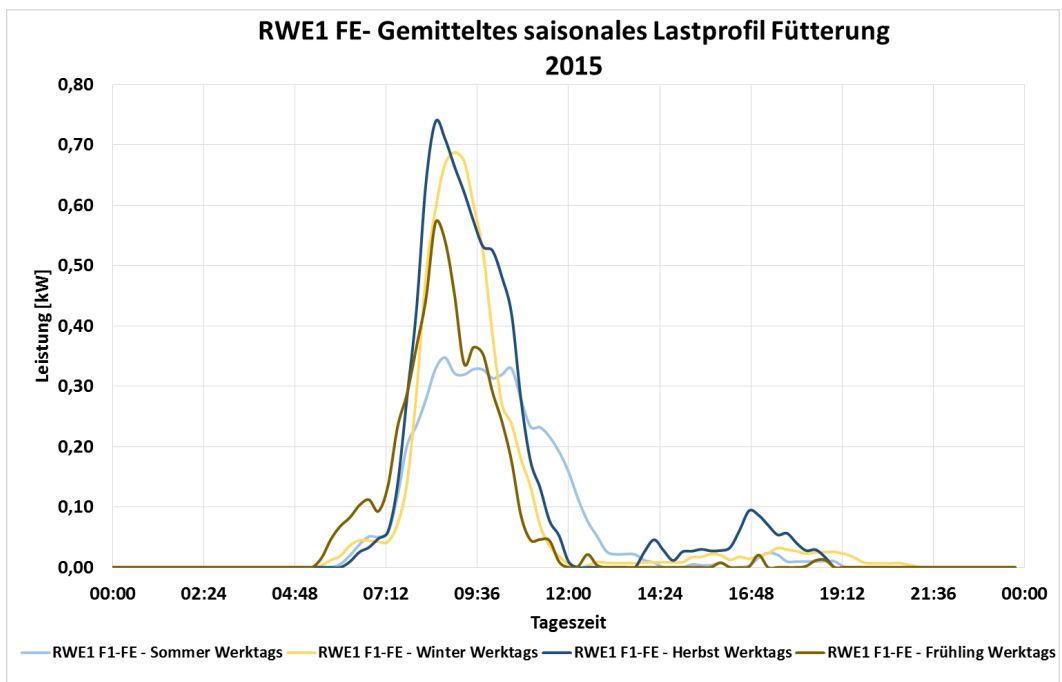


Abbildung 110: RWE1-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015

Anhang C: RWE2

RWE2 SA-Lüftung

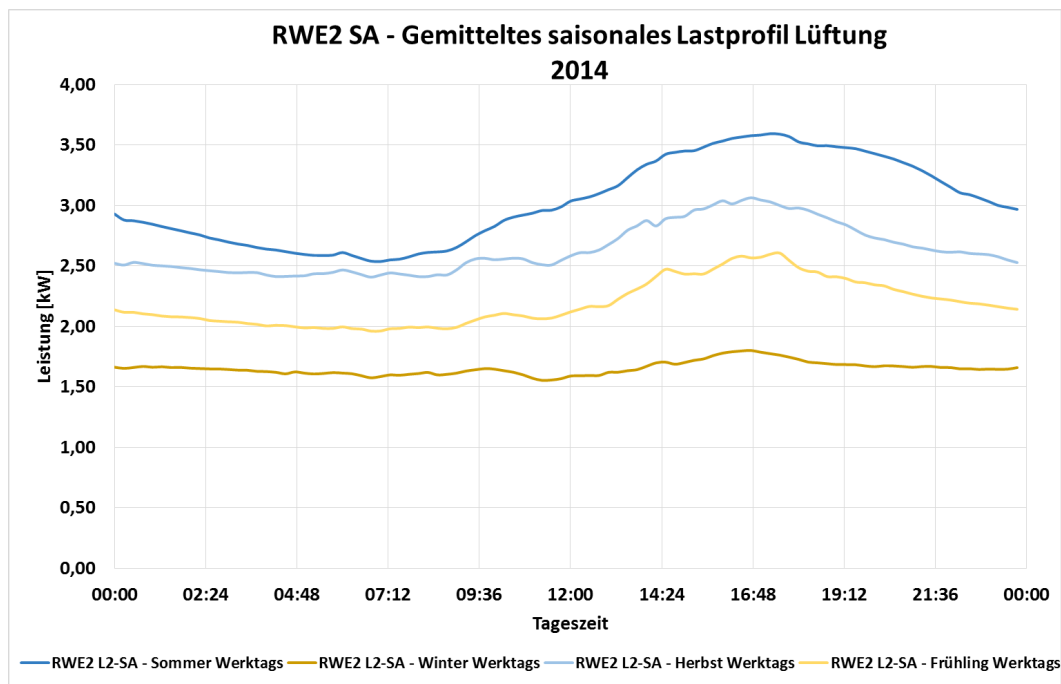


Abbildung 111: RWE2-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014

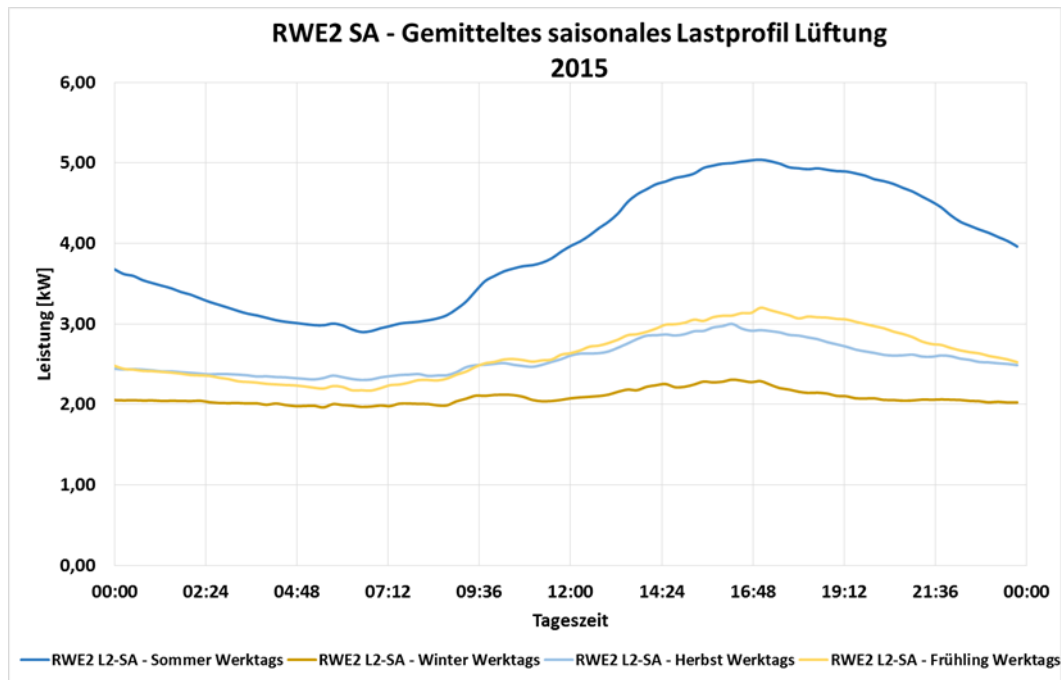


Abbildung 112: RWE2-SA Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015

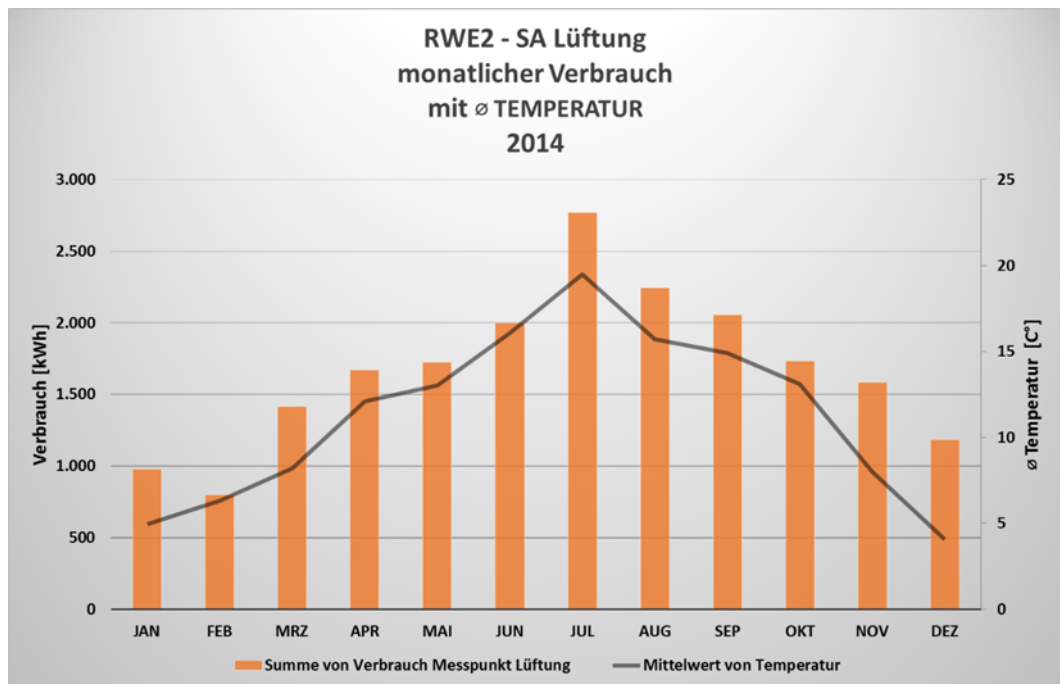


Abbildung 113: RWE2-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014

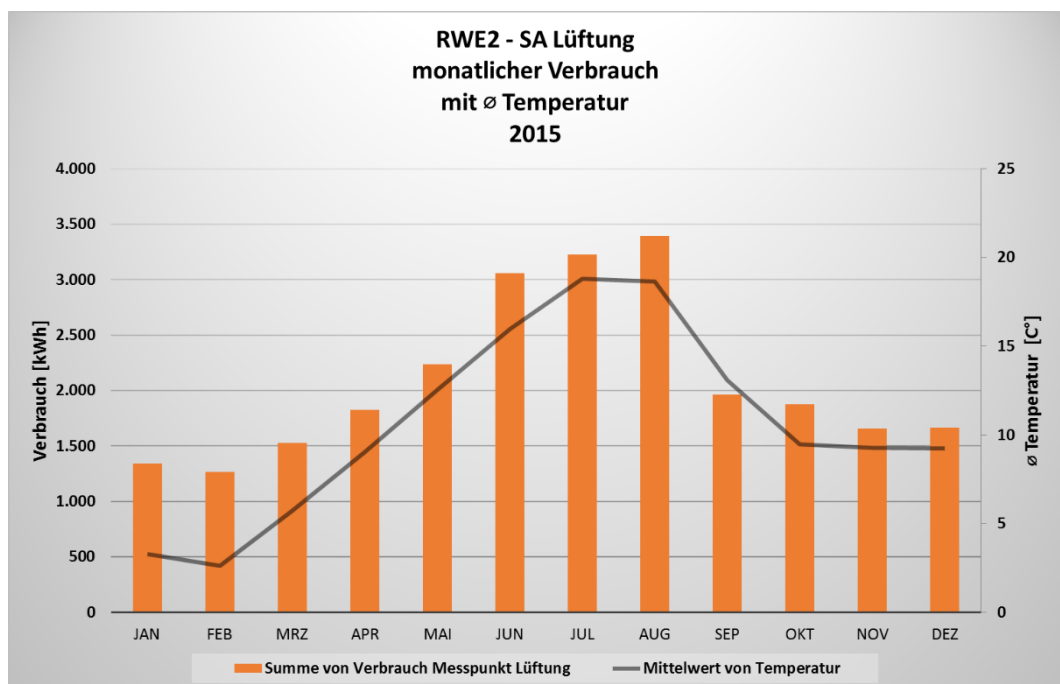


Abbildung 114: RWE2-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015

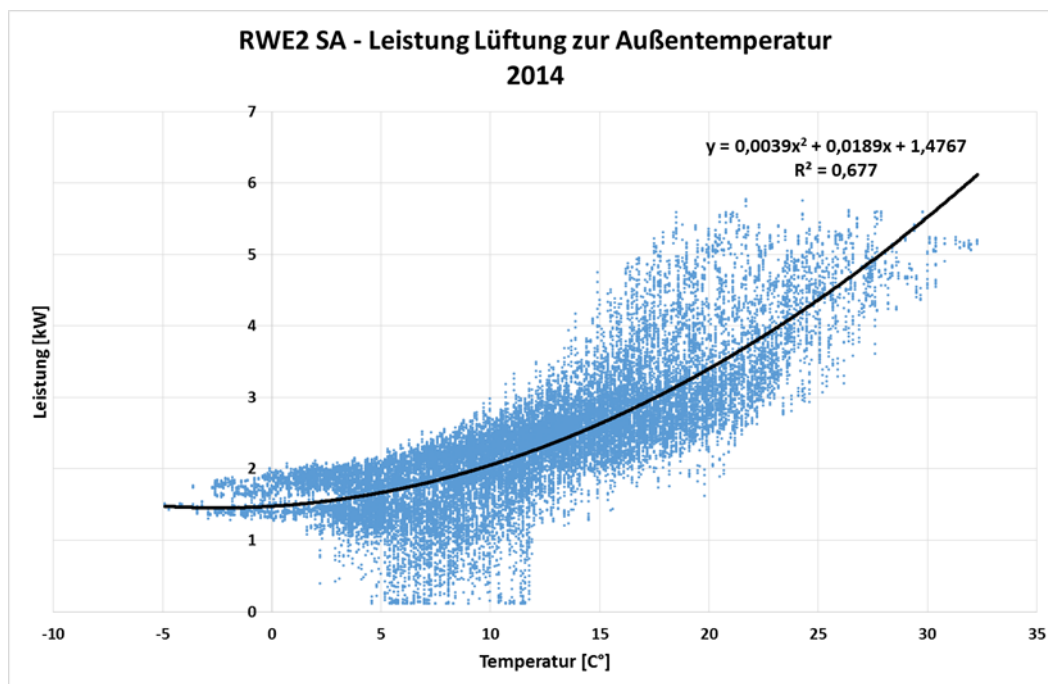


Abbildung 115: RWE2-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014

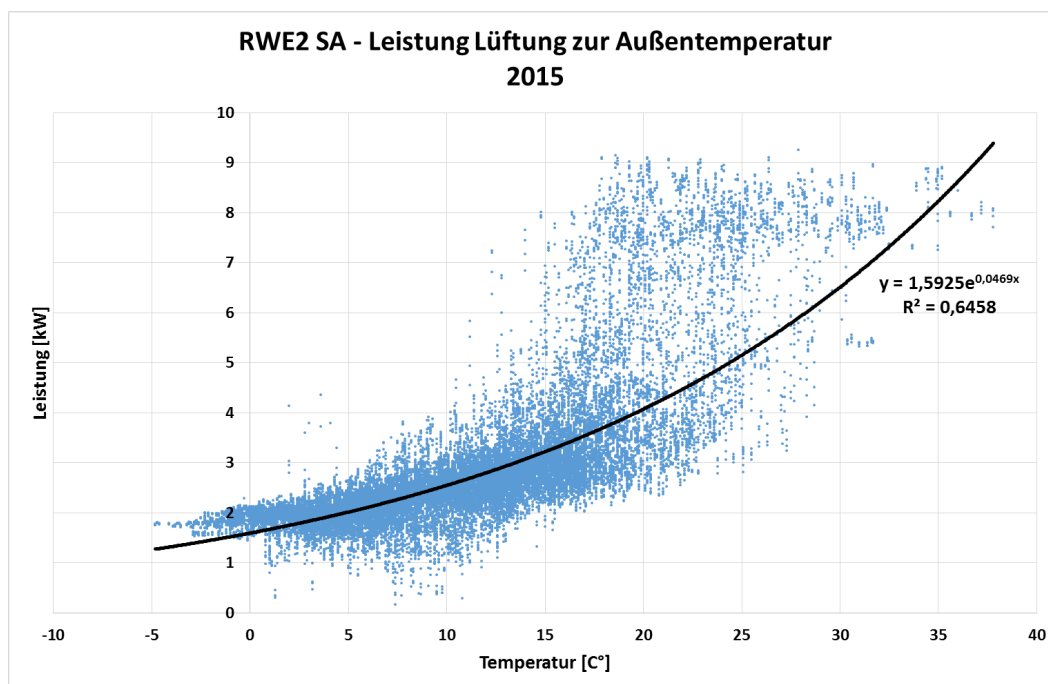


Abbildung 116: RWE2-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015

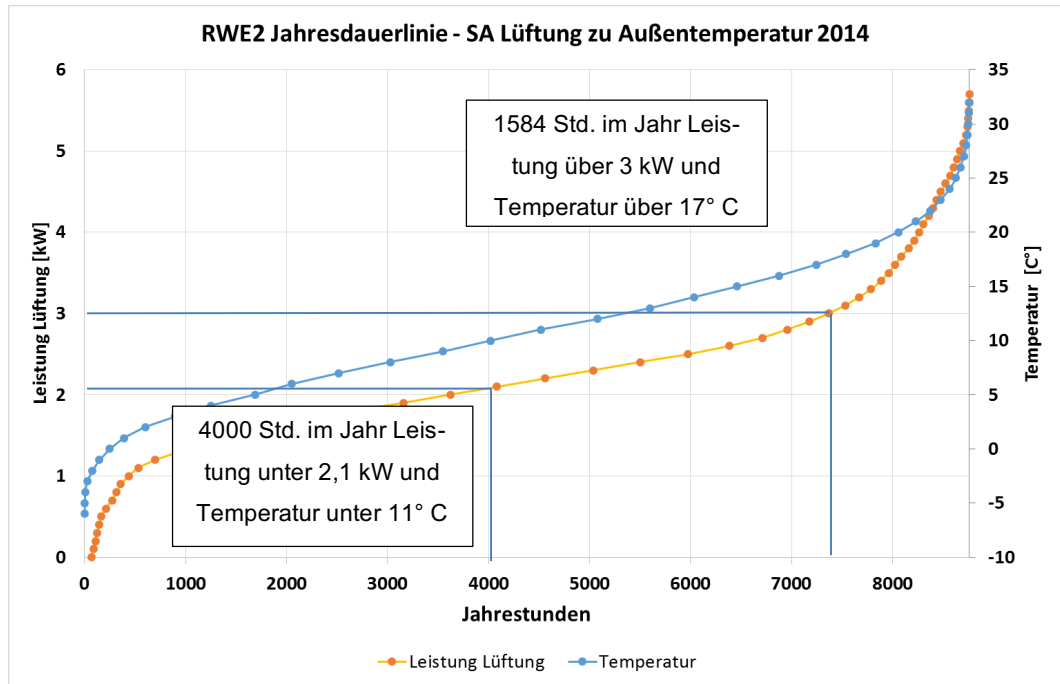


Abbildung 117: RWE2-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2014

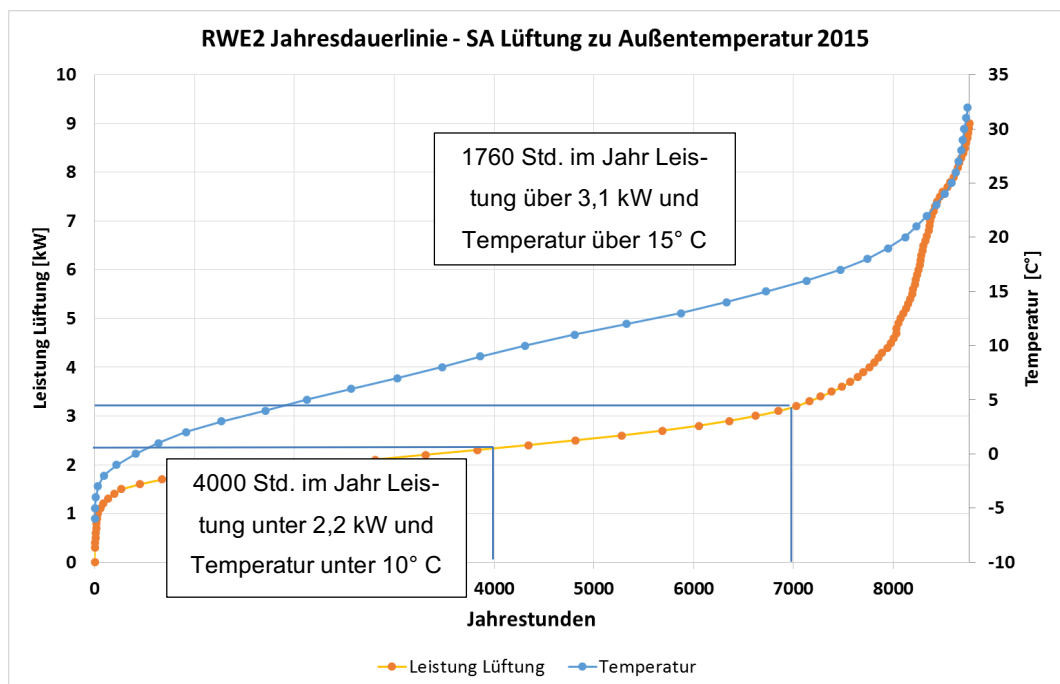


Abbildung 118: RWE2-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2015

RWE2 SA-Beleuchtung

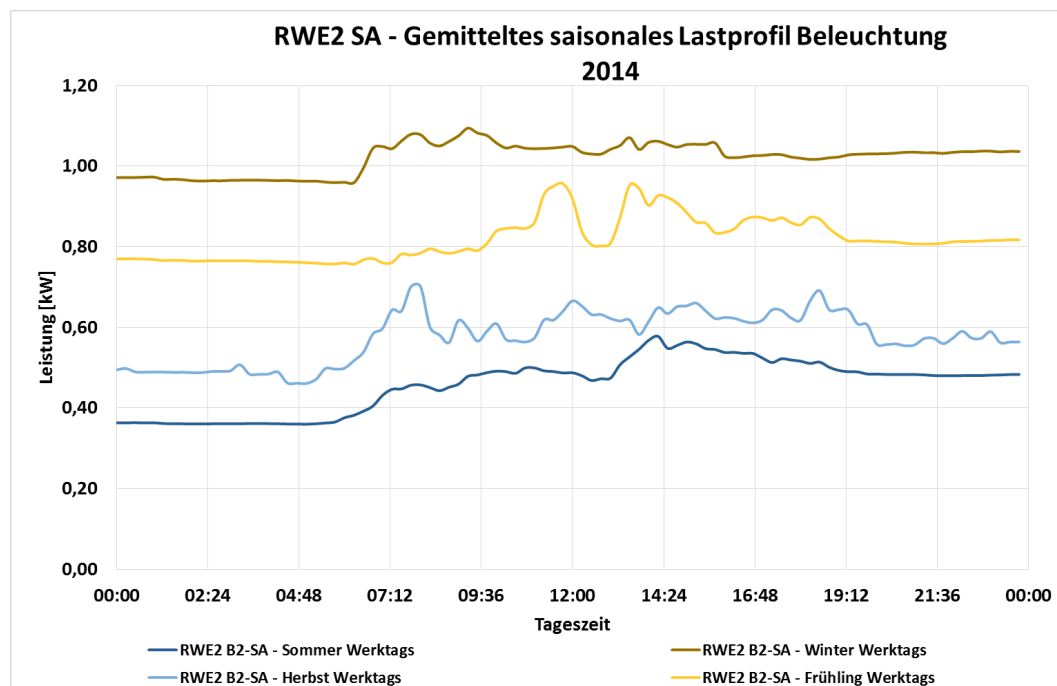


Abbildung 119: RWE2-SA Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014

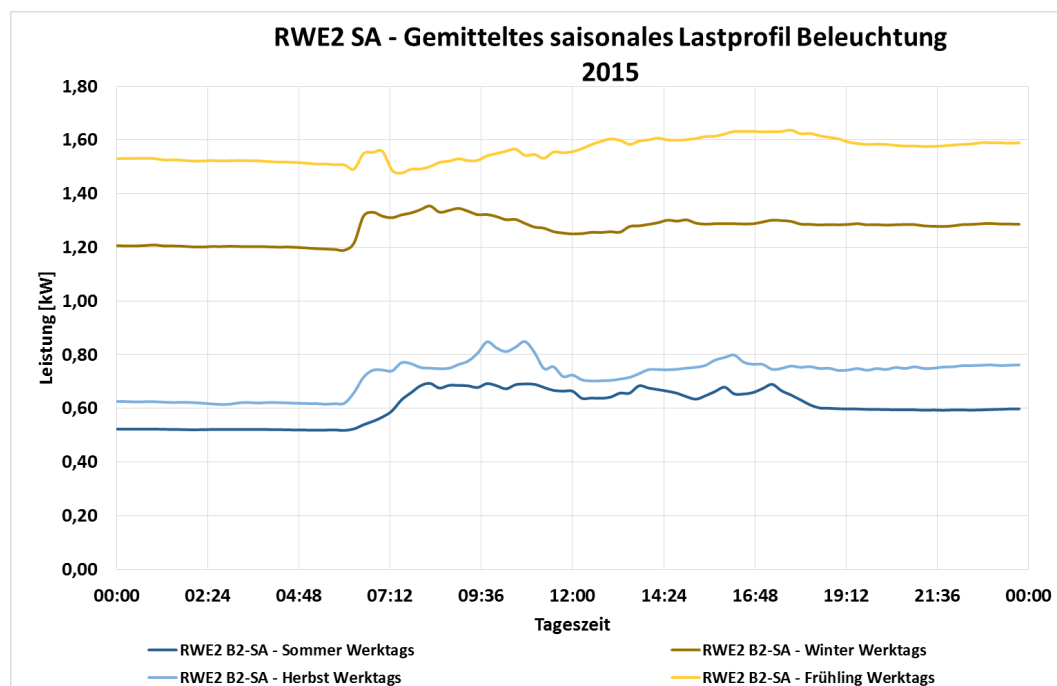


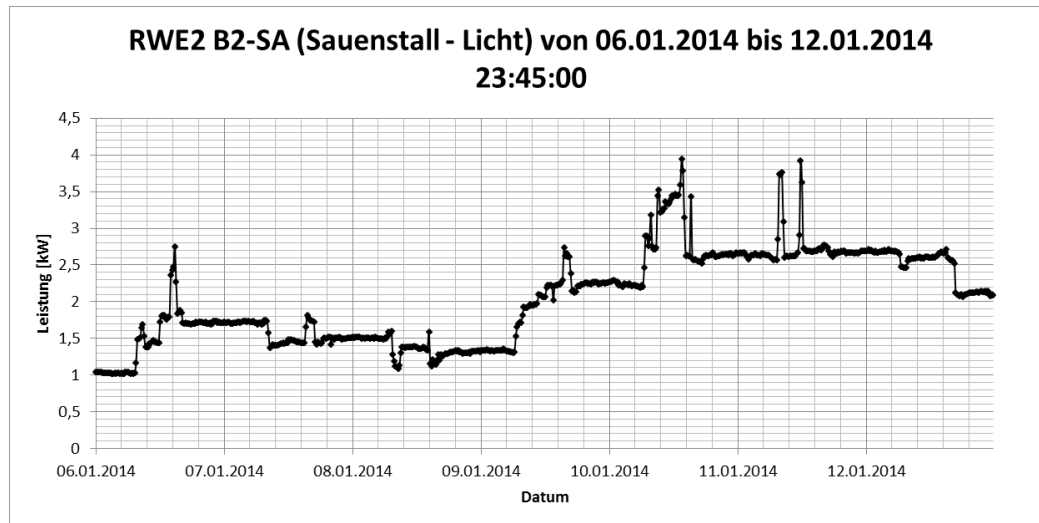
Abbildung 120: RWE2-SA Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015

Tabelle 0.1: RWE2-SA Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbe-
reichen und Jahresstunden 2015

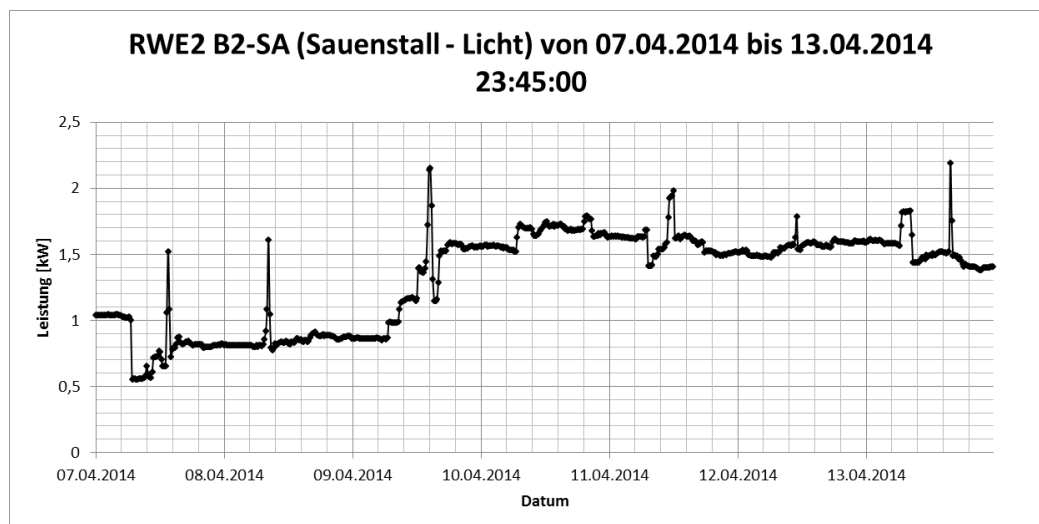
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a	Veränderung Vorjahr [%]
00:00 - 23:45	471 (448)	0,00	104 (112)	-76%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0 > 0,2	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	3943	104,61	986	-17%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,2 > 0,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	5487	461,08	1.372	-28%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,5 > 1	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	6219	1.124,33	1.555	-21%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 1 > 1,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	6754	2.078,70	1.689	25%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 1,5 > 2	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	4632	2.008,91	1.158	12%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 2 > 2,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	3564	1.974,77	891	65%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 2,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	3844	2.871,99	961	223%
Summe		10.624,39	8.723	36%

Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2014

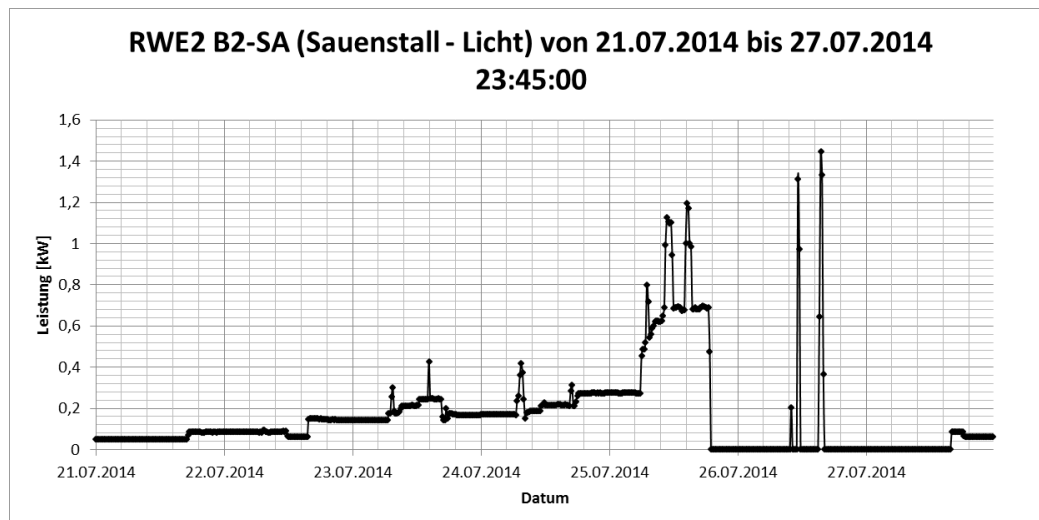
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



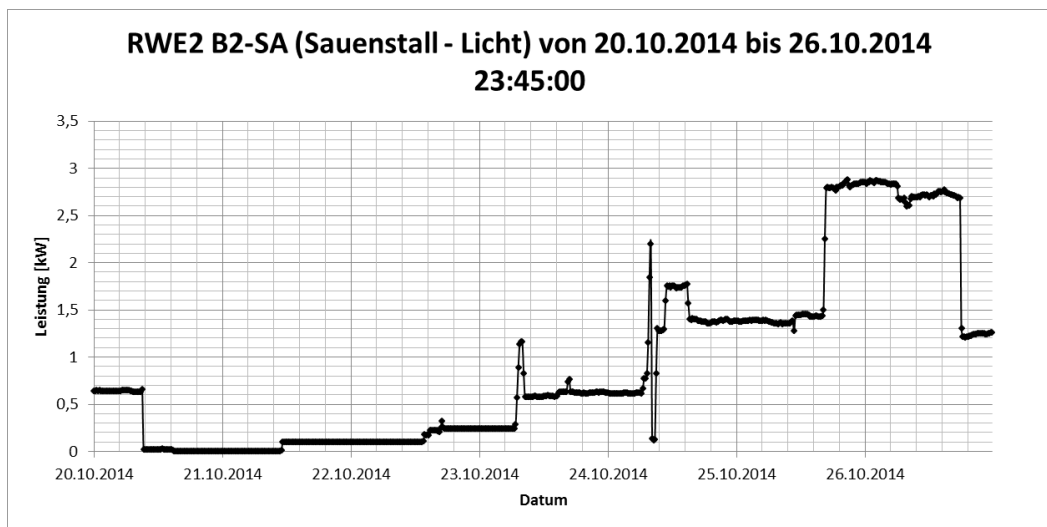
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

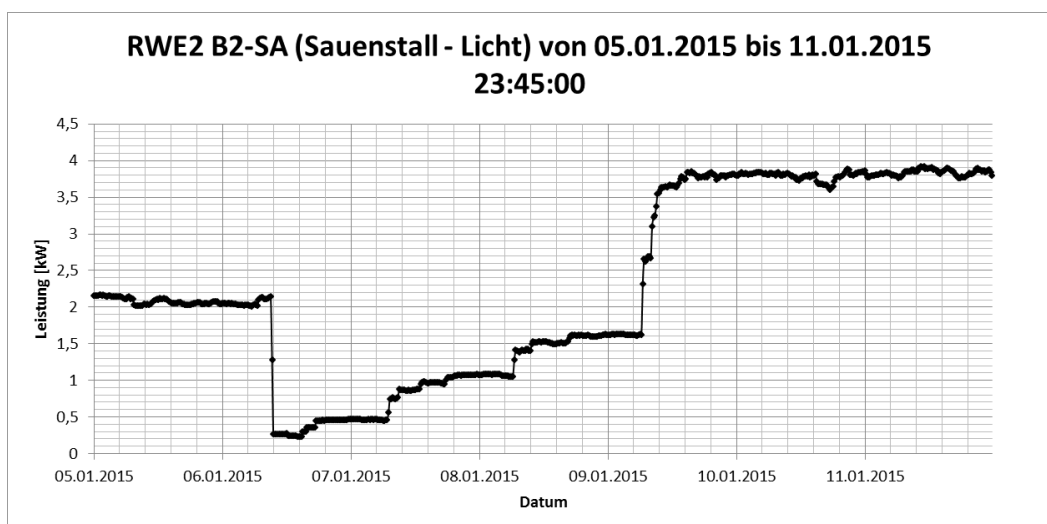


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

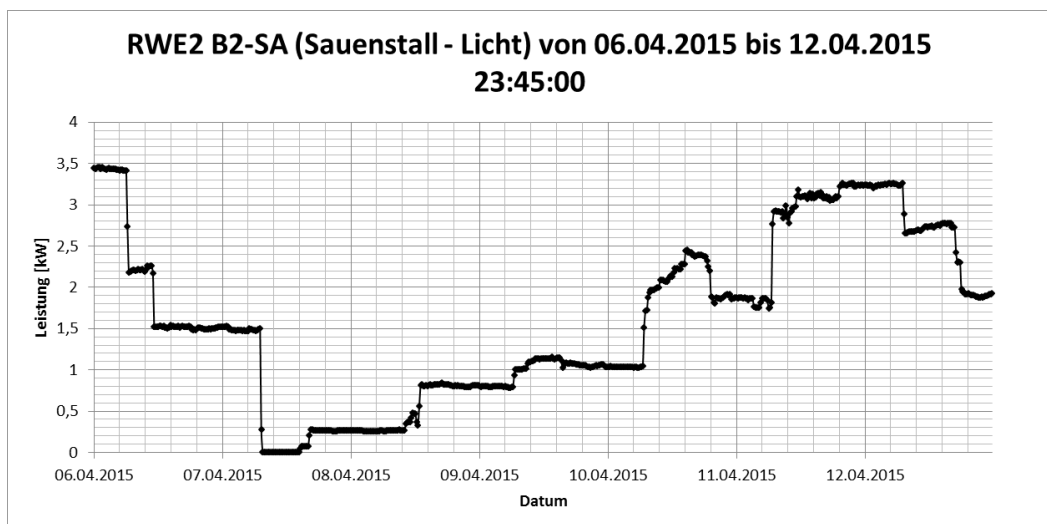


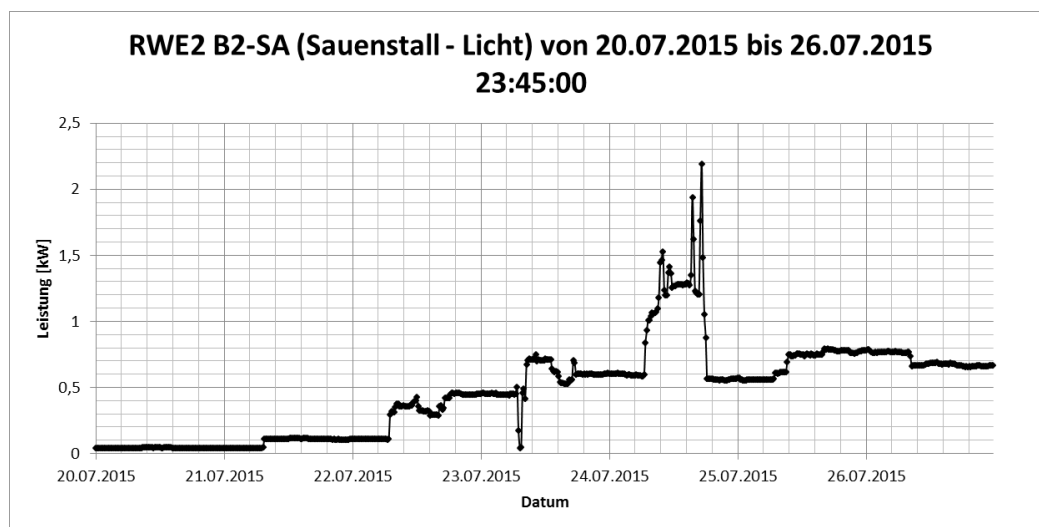
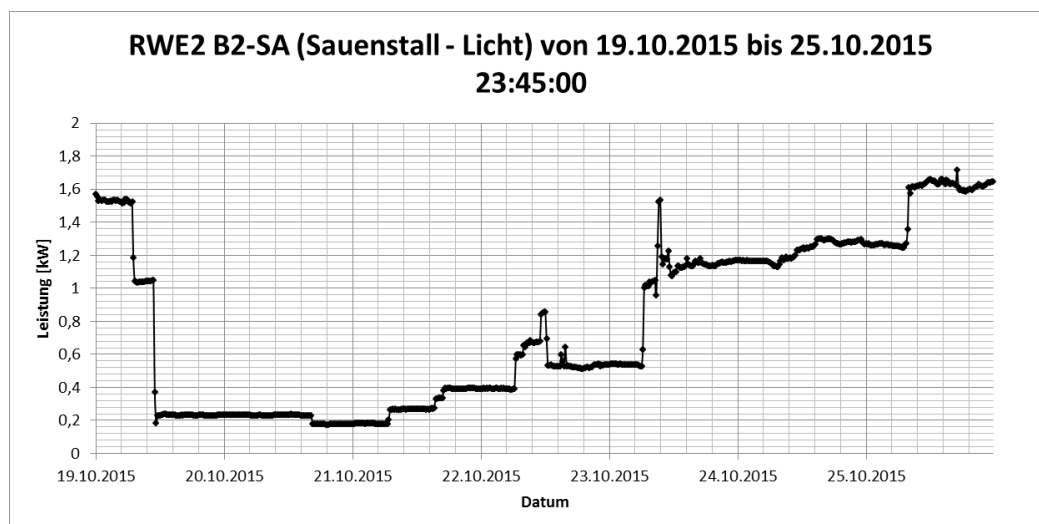
Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE2 SA-Sonstiges

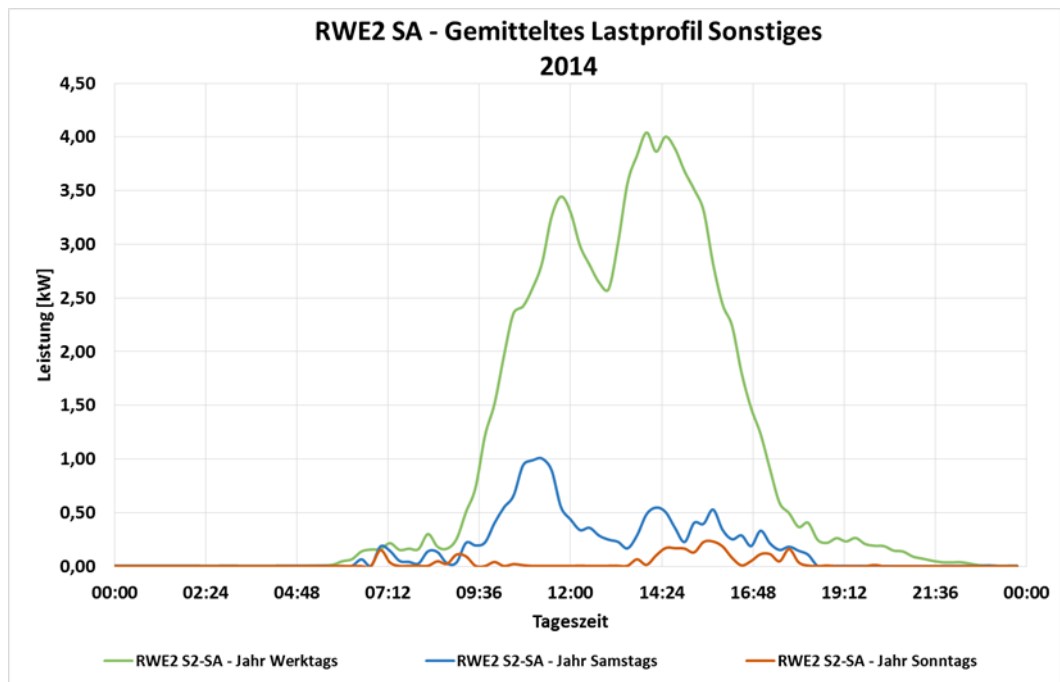


Abbildung 121: RWE2-SA Gemittelttes Tageslastprofil Sonstiges 2014

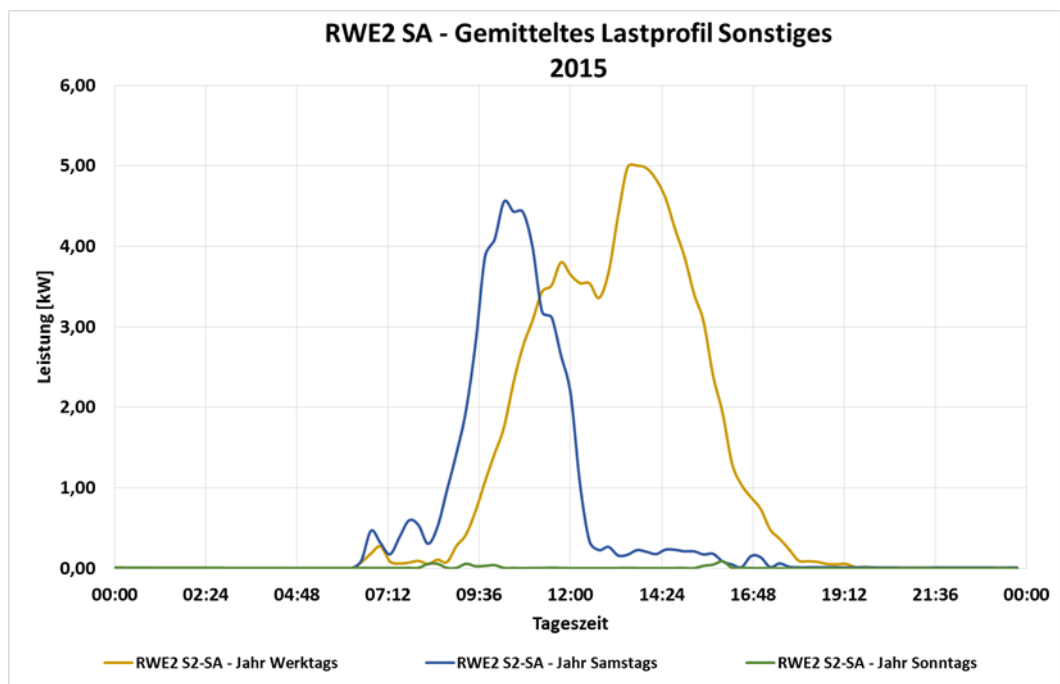
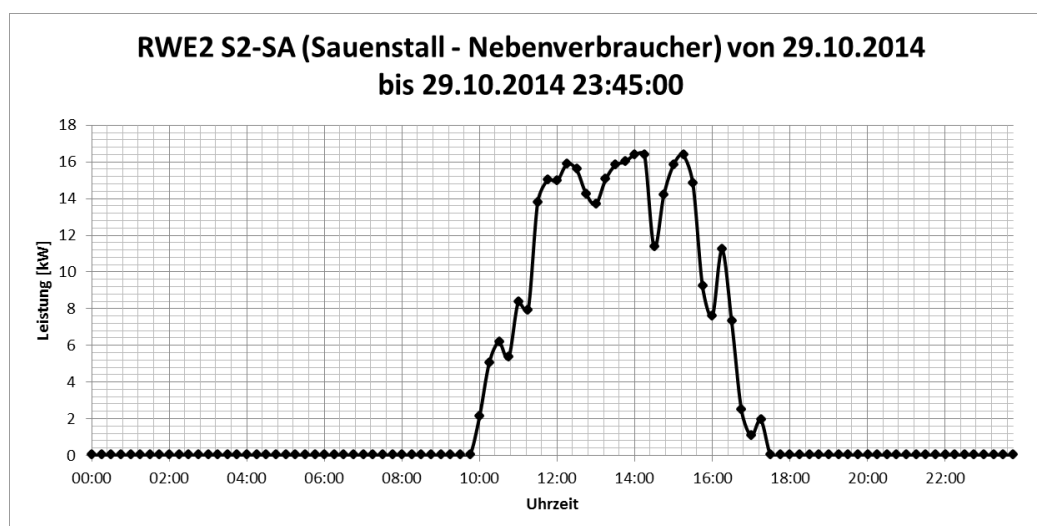
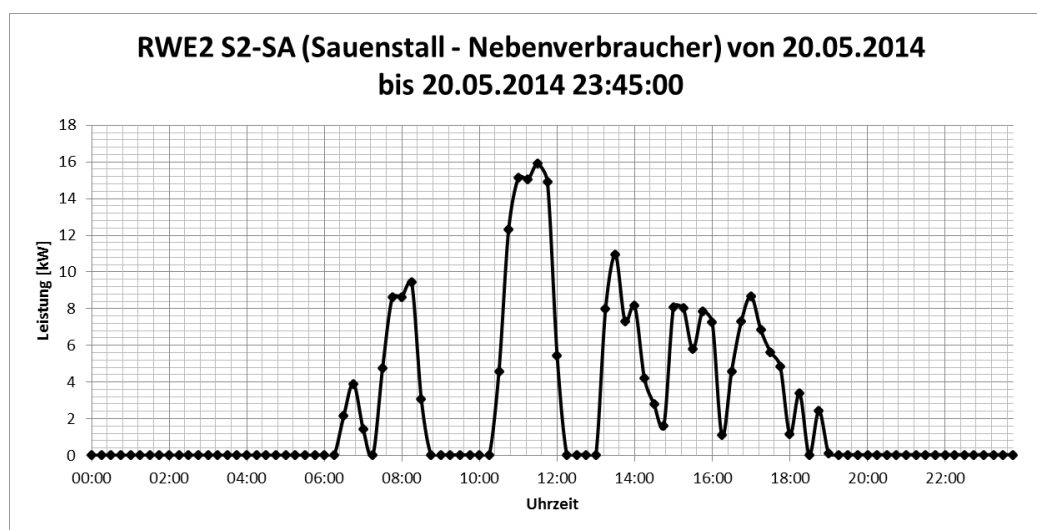


Abbildung 122: RWE2-SA Gemittelttes Tageslastprofil Sonstiges 2015

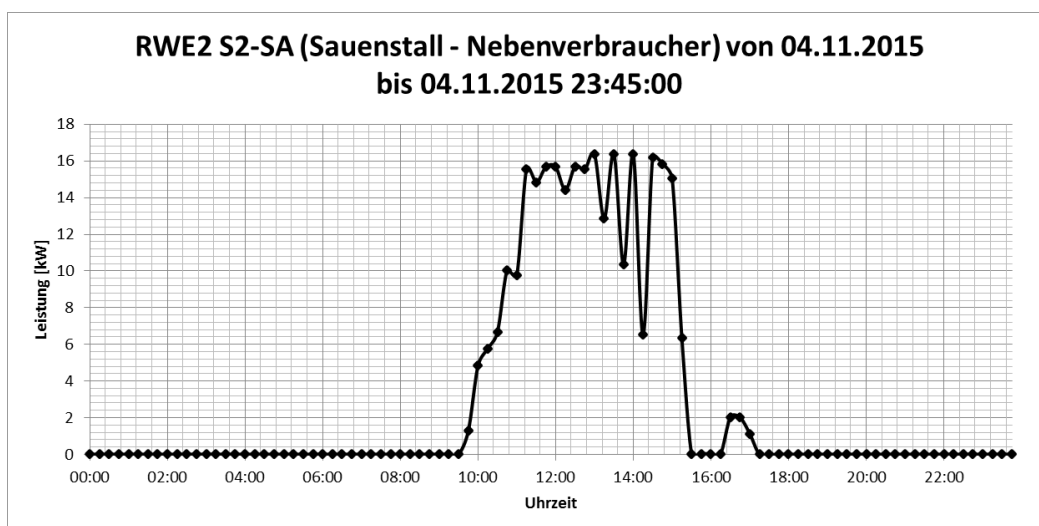
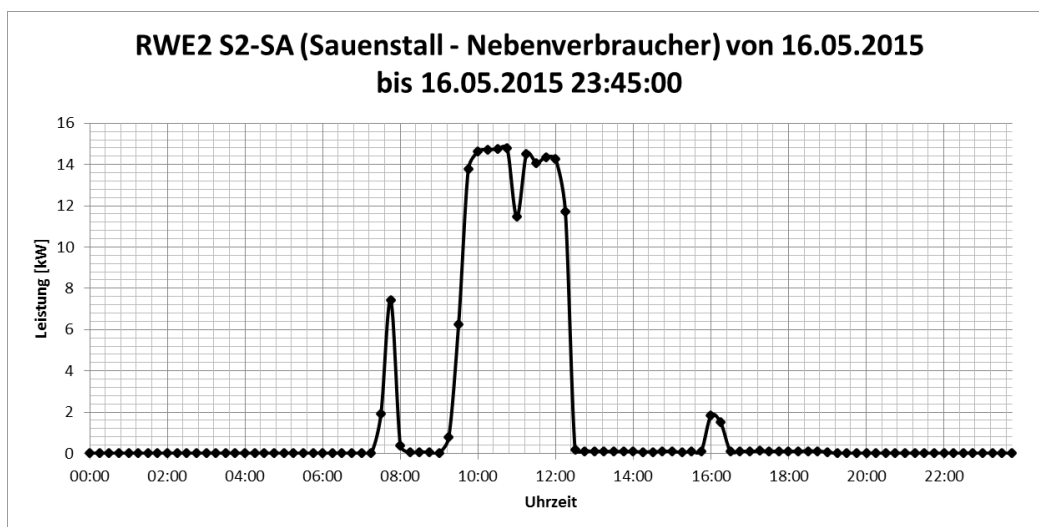
Tabelle 0.2: RWE2-SA Sonstiges: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbereichen und Jahresstunden 2015

Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a	Veränderung Vorjahr [%]
00:00 - 23:45	21564 (21667)	0,00	5391 (5417)	-12%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0 > 1	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	4347	101,7	1.087	-36%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 1	Energie [kWh]	h/a	
06:30 - 19:45	2787	5.630,18	697	-19%
Summe		5.731,88	7.201	-9%

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014



Ausgewählte Messreihen – täglich 2015



RWE2 SA-Fütterung

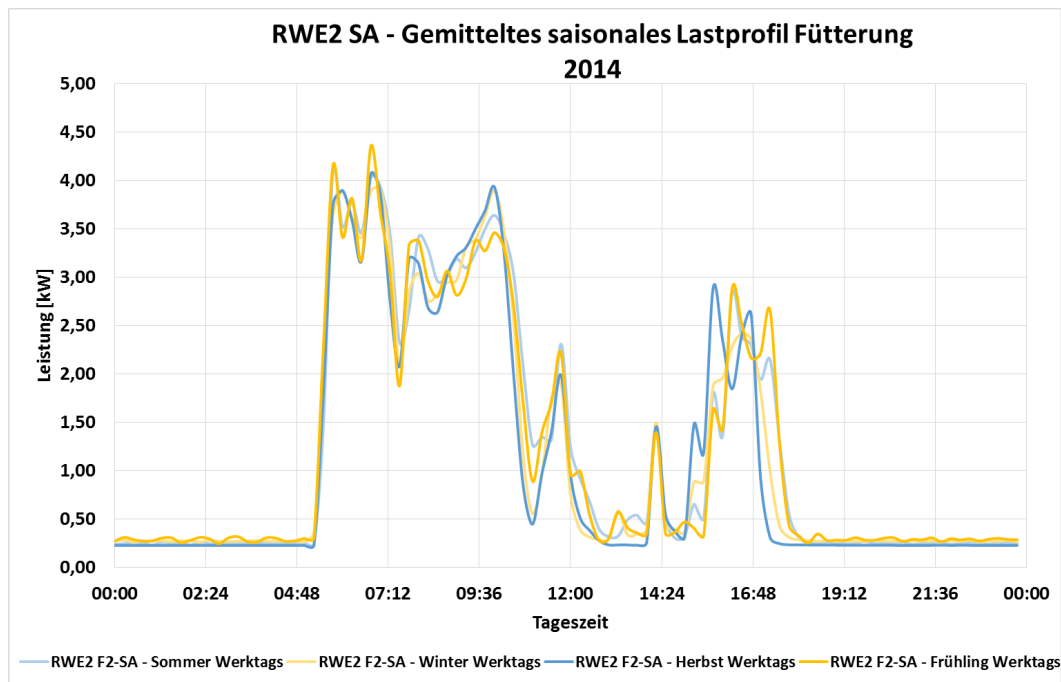


Abbildung 123: RWE2-SA Gemitteltes Tageslastprofil Fütterung 2014

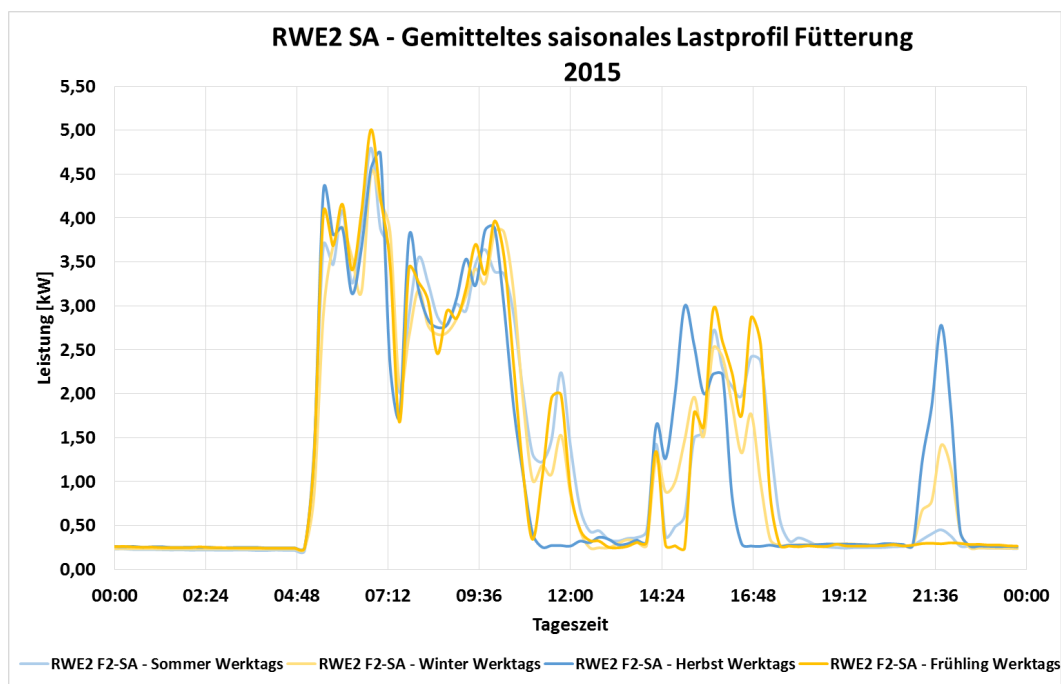


Abbildung 124: RWE2-SA Gemitteltes Tageslastprofil Fütterung 2015

RWE2 FE-Lüftung

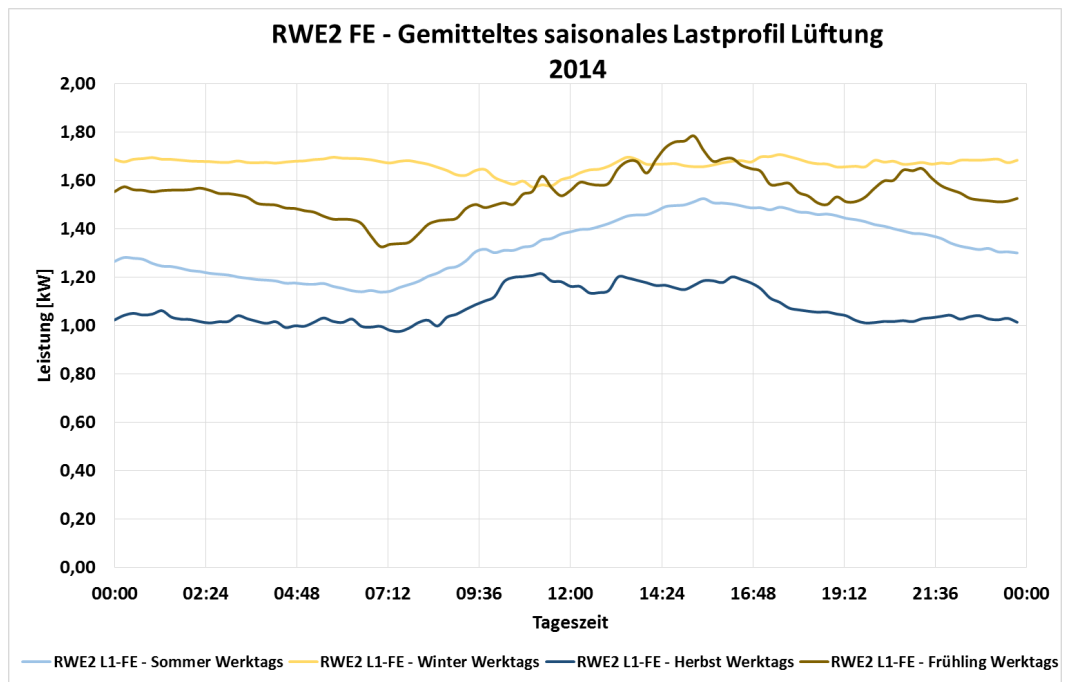


Abbildung 125: RWE2-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014

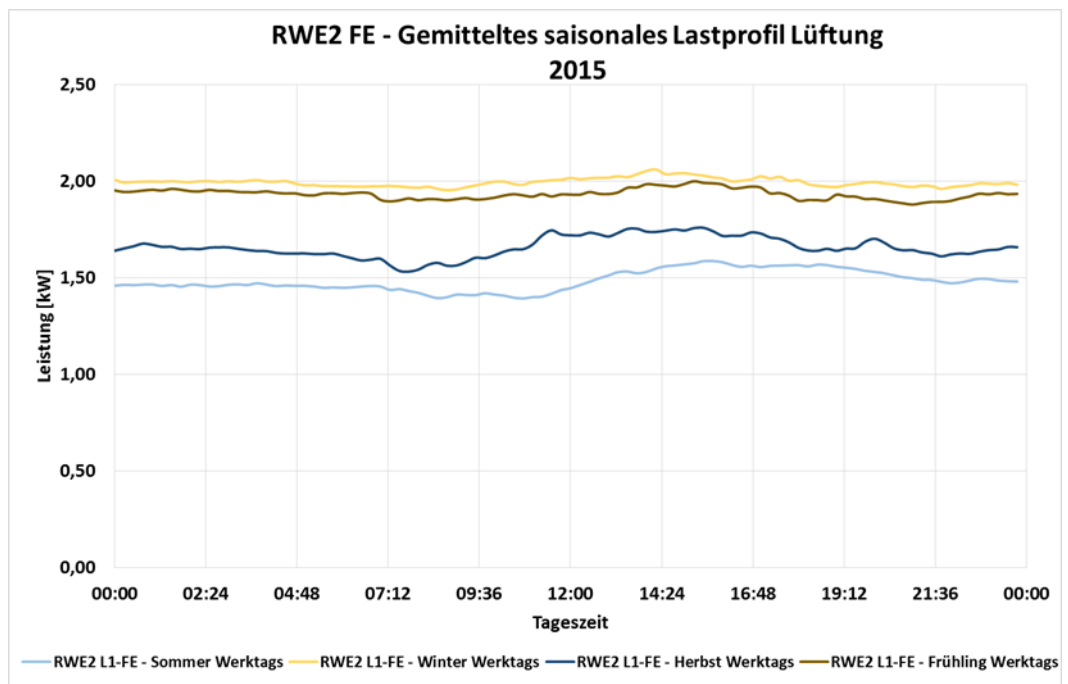


Abbildung 126: RWE2-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015

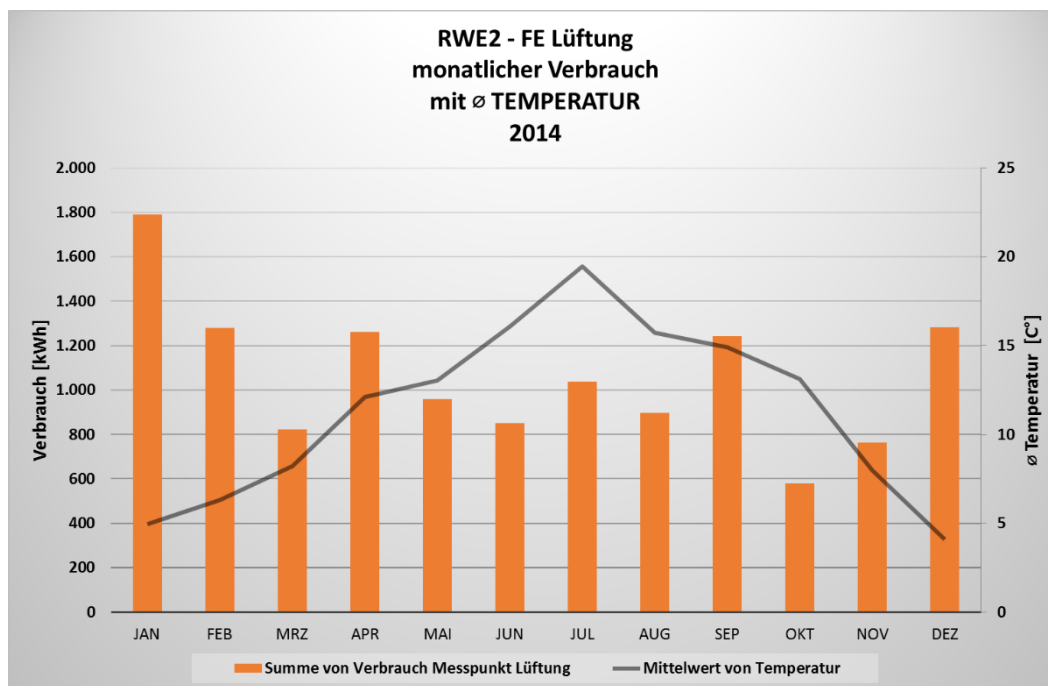


Abbildung 127: RWE2-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014

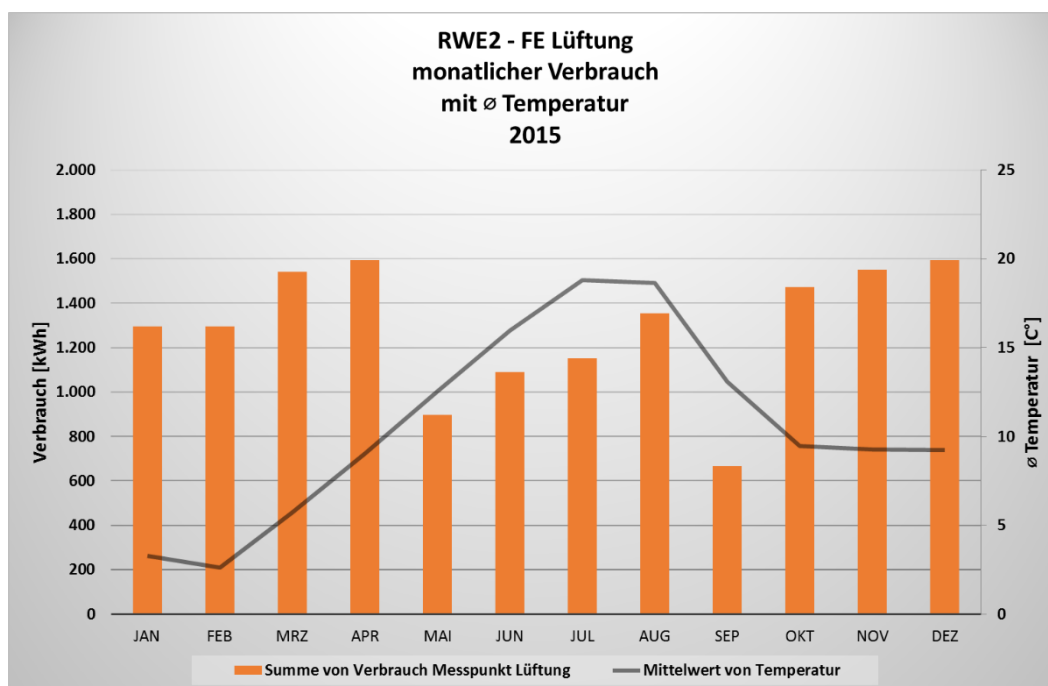


Abbildung 128: RWE2-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015

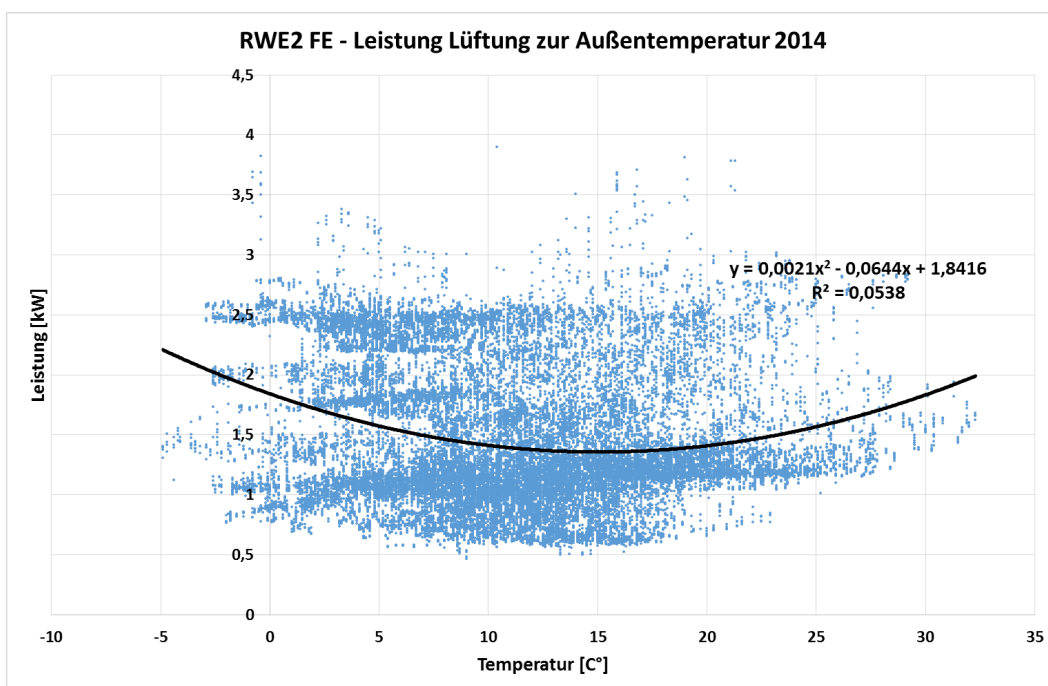


Abbildung 129: RWE2-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014

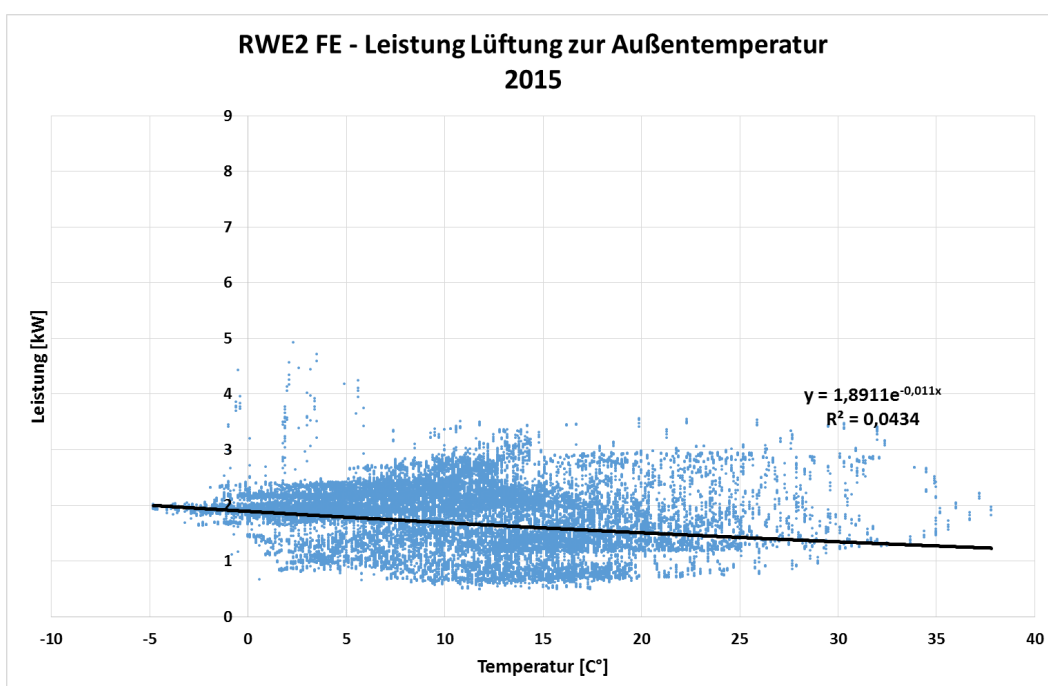


Abbildung 130: RWE2-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015

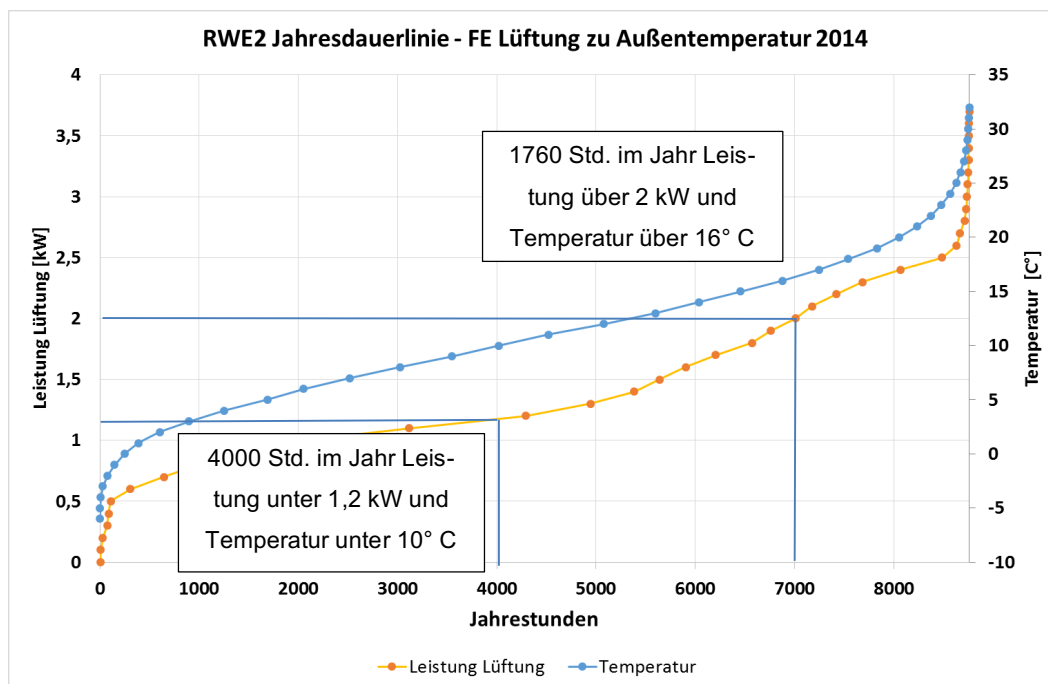


Abbildung 131: RWE2-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2014

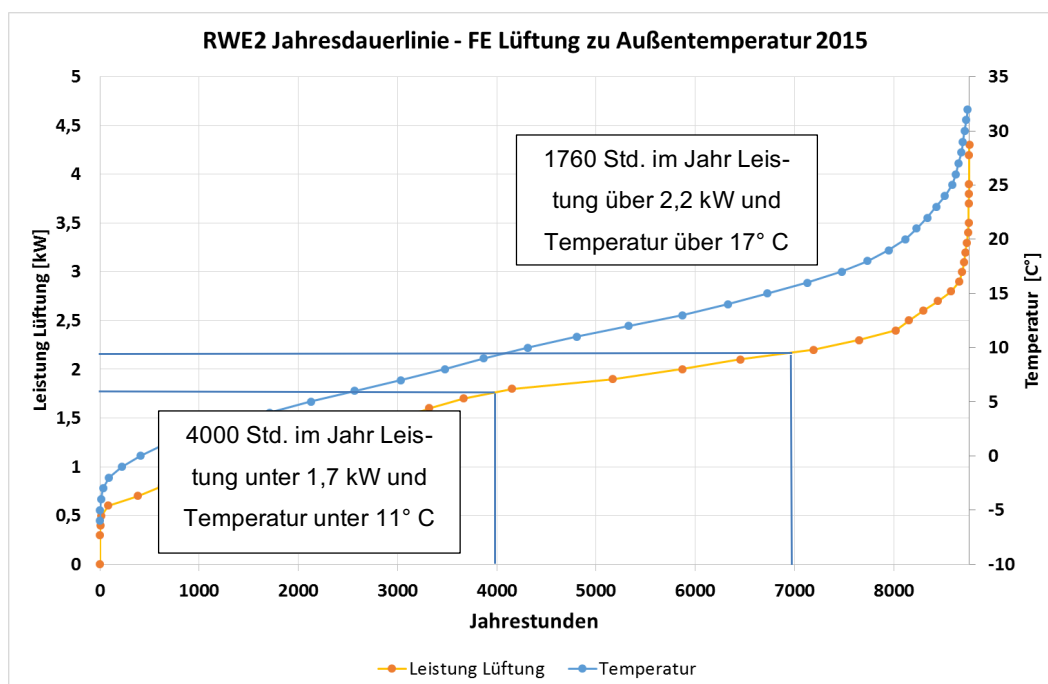
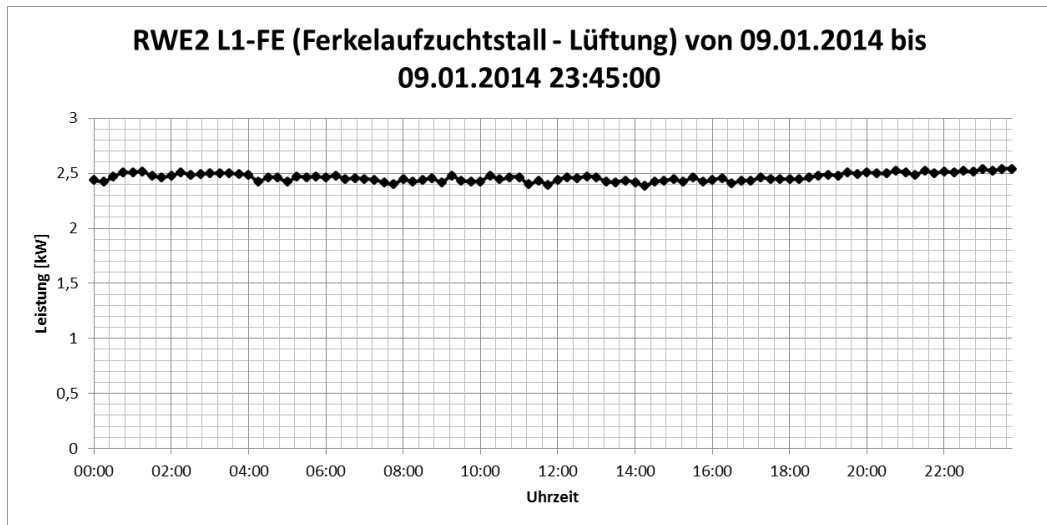


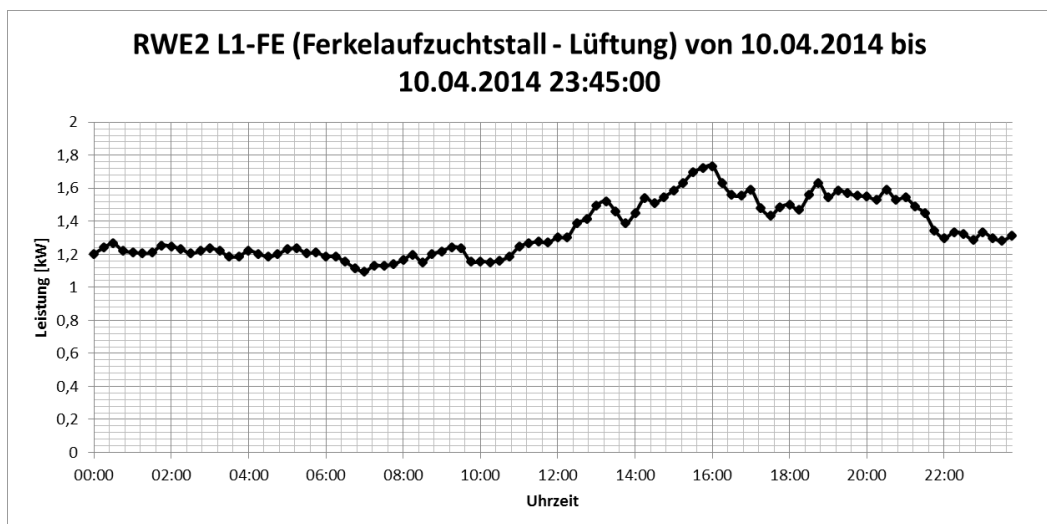
Abbildung 132: RWE2-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2015

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014

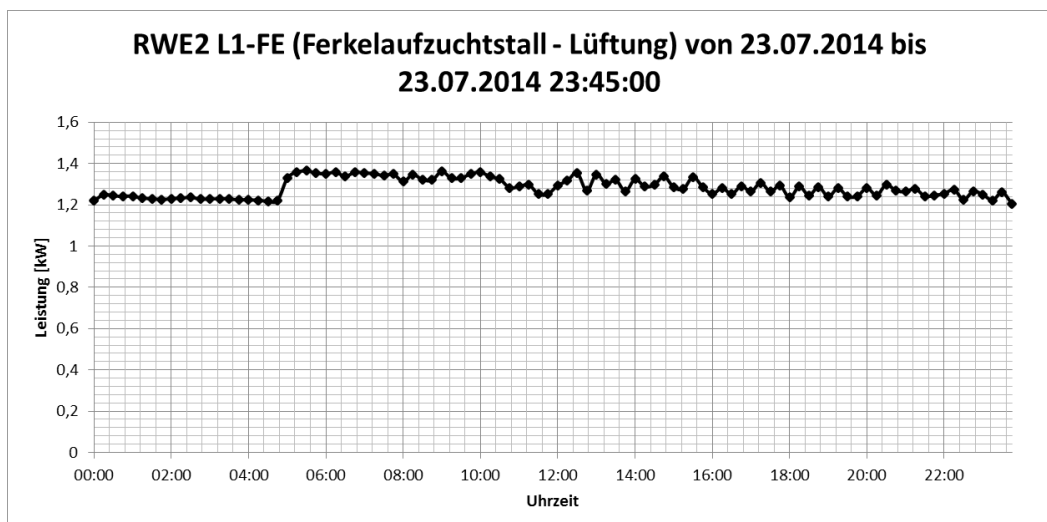
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



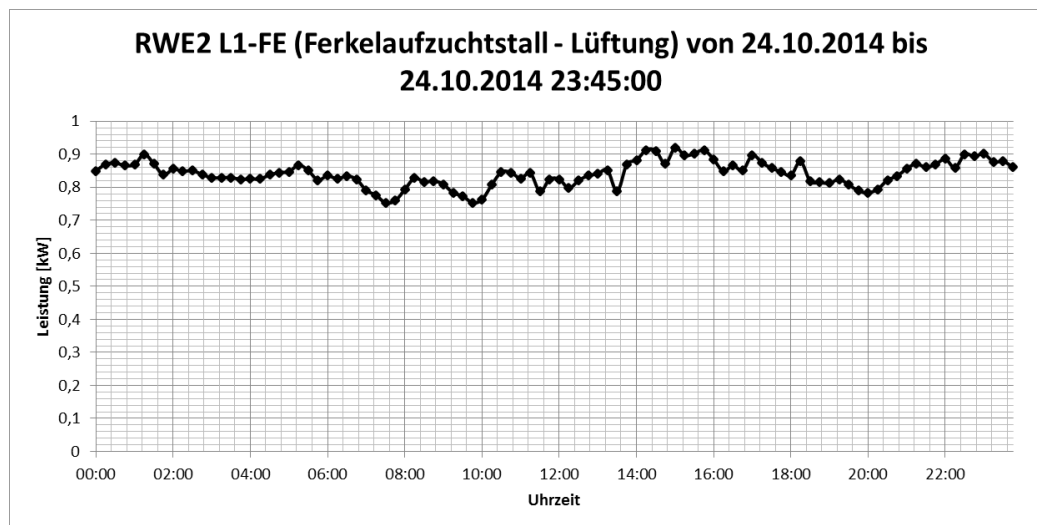
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

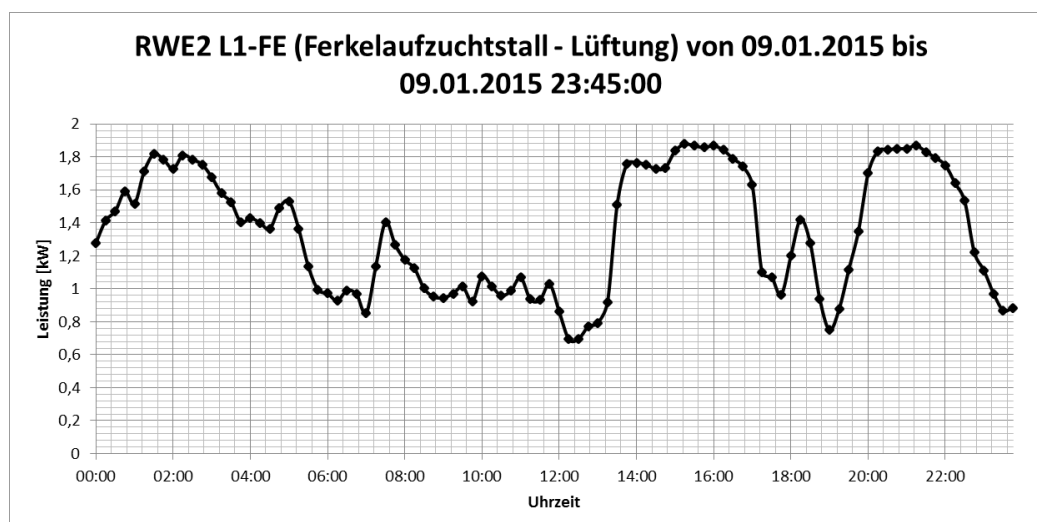


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

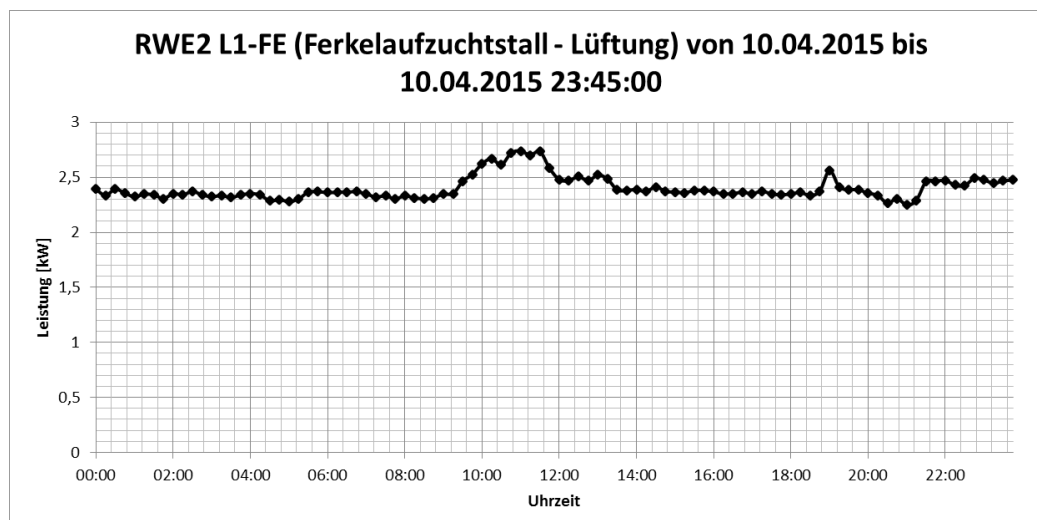


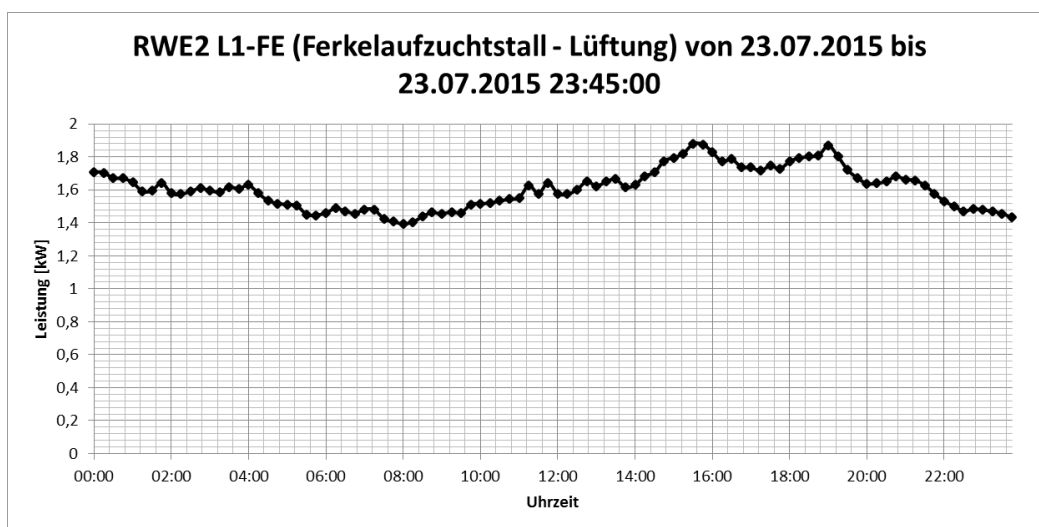
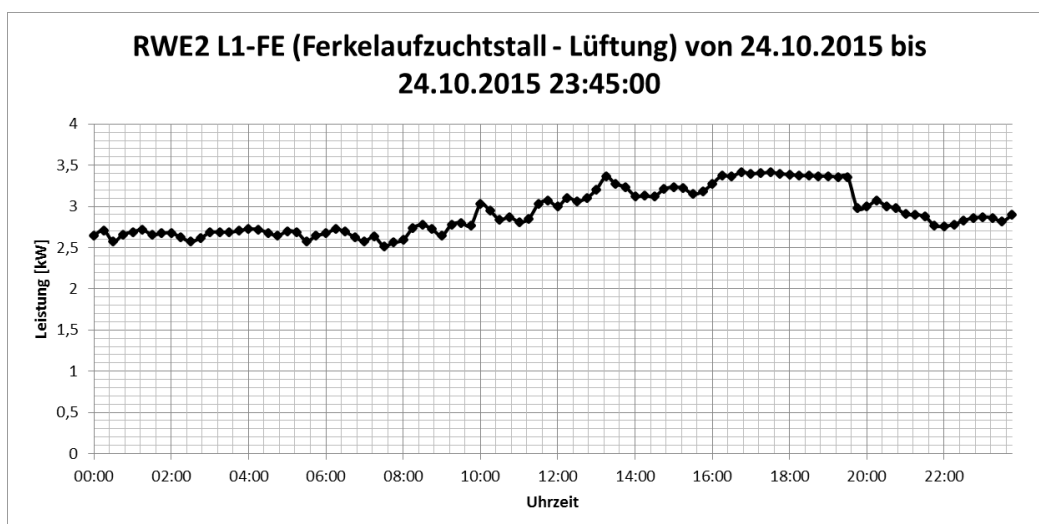
Ausgewählte Messreihen – täglich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE2 FE-Beleuchtung

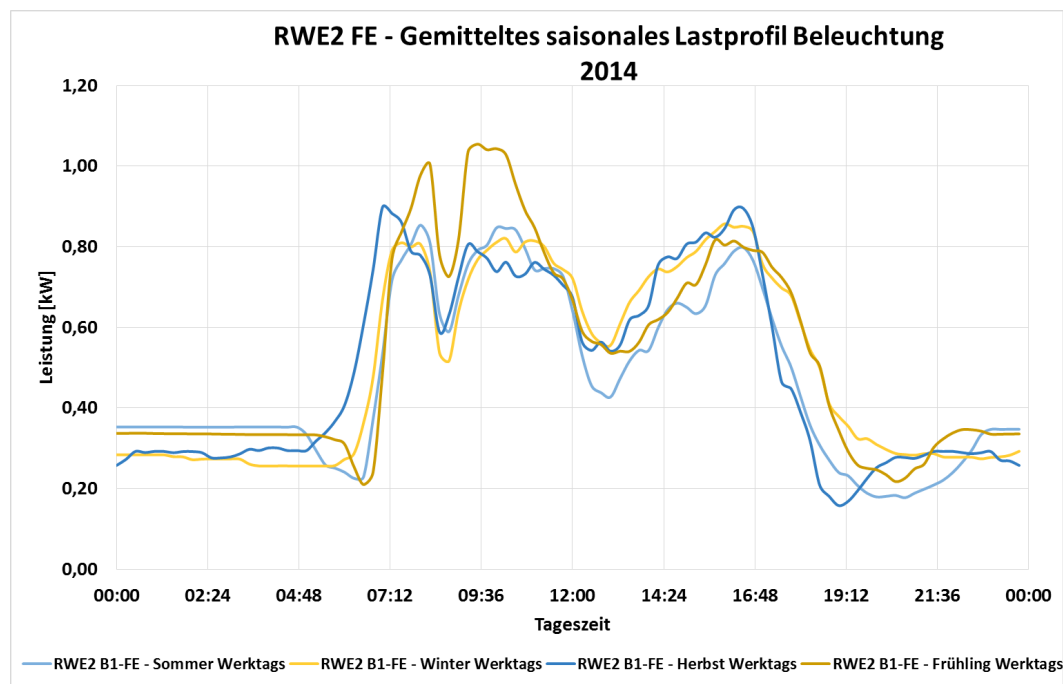


Abbildung 133: RWE2-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2014

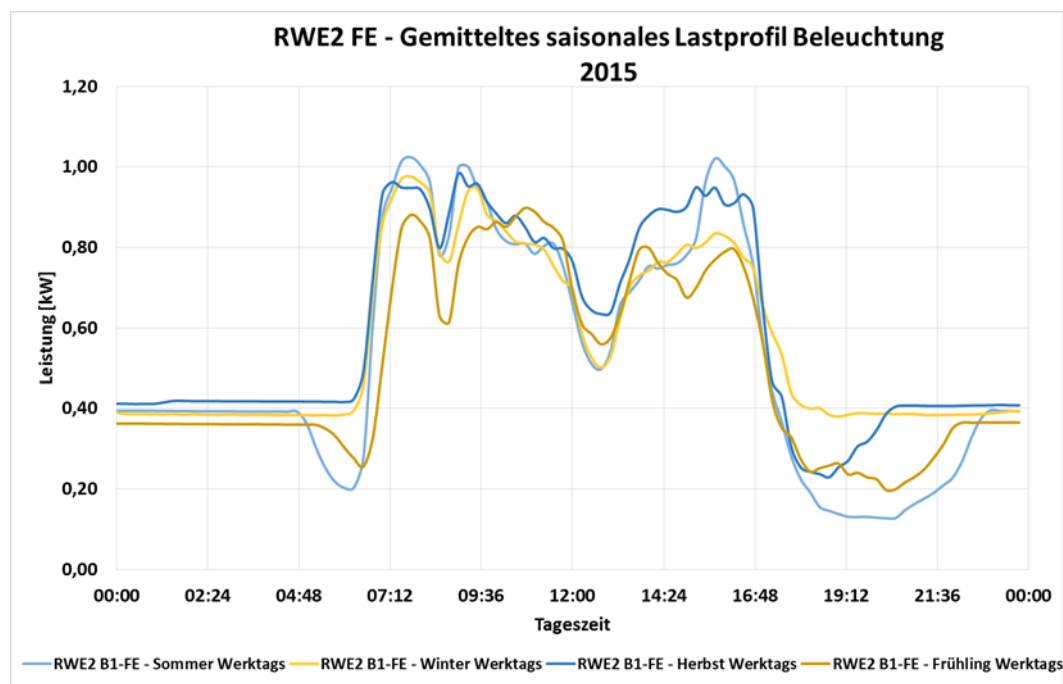


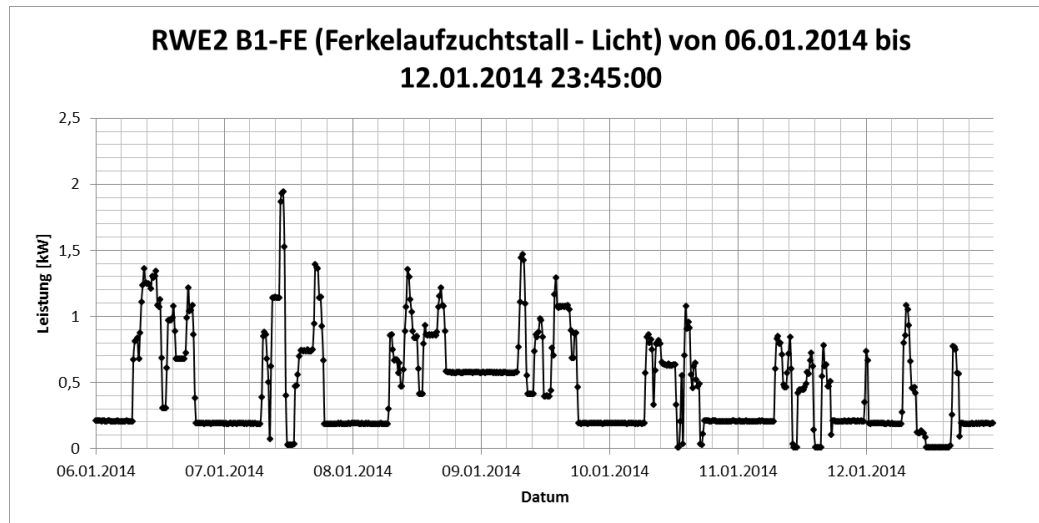
Abbildung 134: RWE2-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Beleuchtung 2015

Tabelle 0.3: RWE2-FE Beleuchtung: Gemessene Leistungen, aufgeteilt nach Leistungsbe-
reichen und Jahresstunden 2015

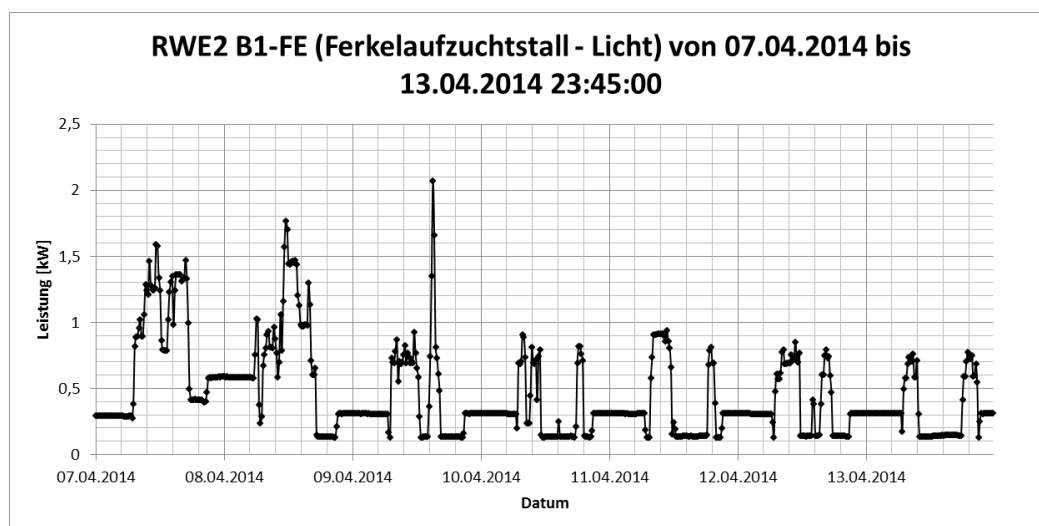
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] = 0	Energie [kWh]	h/a	Veränderung Vorjahr [%]
-	0 (35)	0,00	0 (9)	-90%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] > 0,2	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	7190	193,08	1.798	-20%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,2 > 0,5	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	14635	1.231,03	3.659	4%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 0,5 > 1	Energie [kWh]	h/a	
00:00 - 23:45	9361	1.638,82	2.340	13%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 1 > 1,5	Energie [kWh]	h/a	
05:30 - 20:30	2970	883,31	743	13%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 1,5 > 2	Energie [kWh]	h/a	
06:00 - 18:30	709	300,49	177	51%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 2 > 2,5	Energie [kWh]	h/a	
06:45 - 17:30	100	53,96	25	-12%
Zeitraum	Anzahl Leistung [kW] < 2,5	Energie [kWh]	h/a	
07:00 - 16:30	40	30,51	10	-52%
Summe		4.320,31	8.760	12%

Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2014

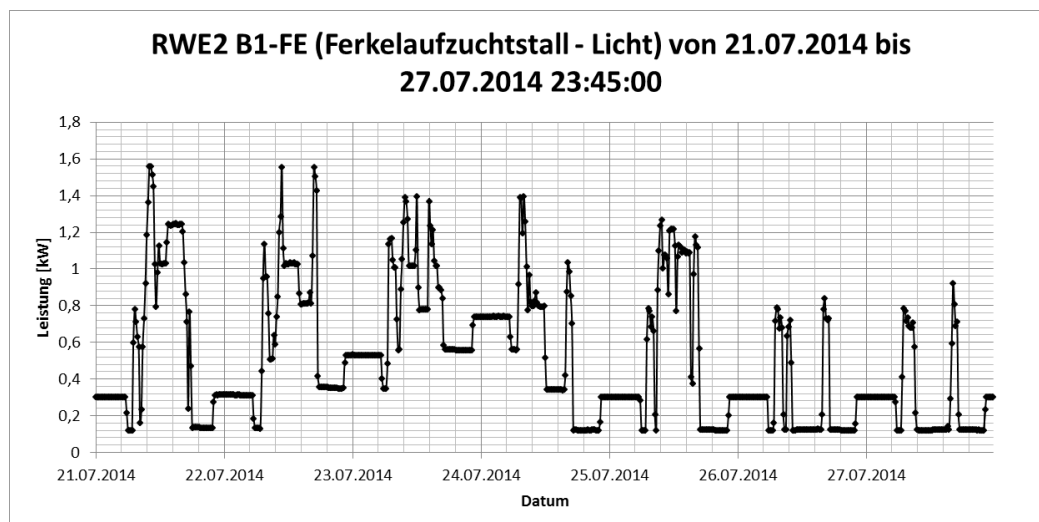
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



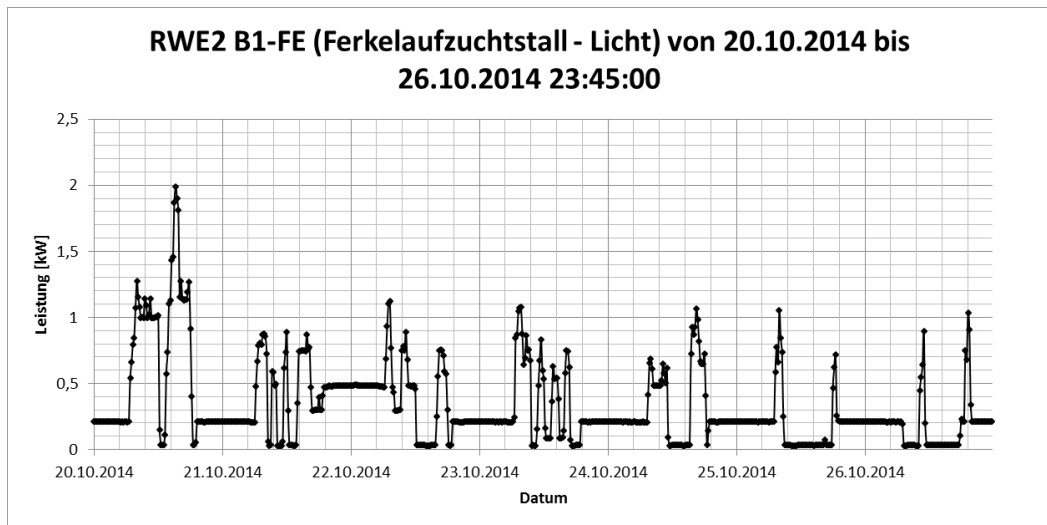
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

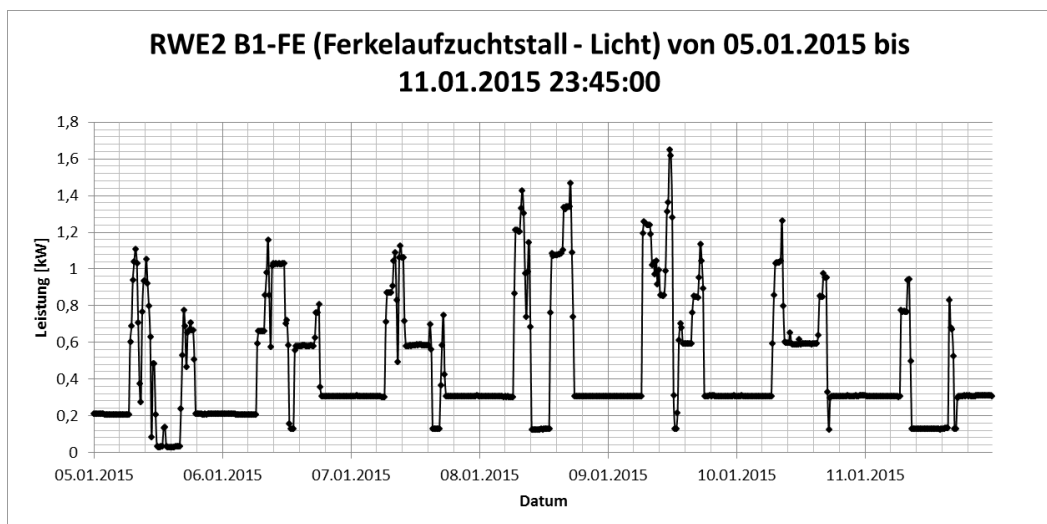


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

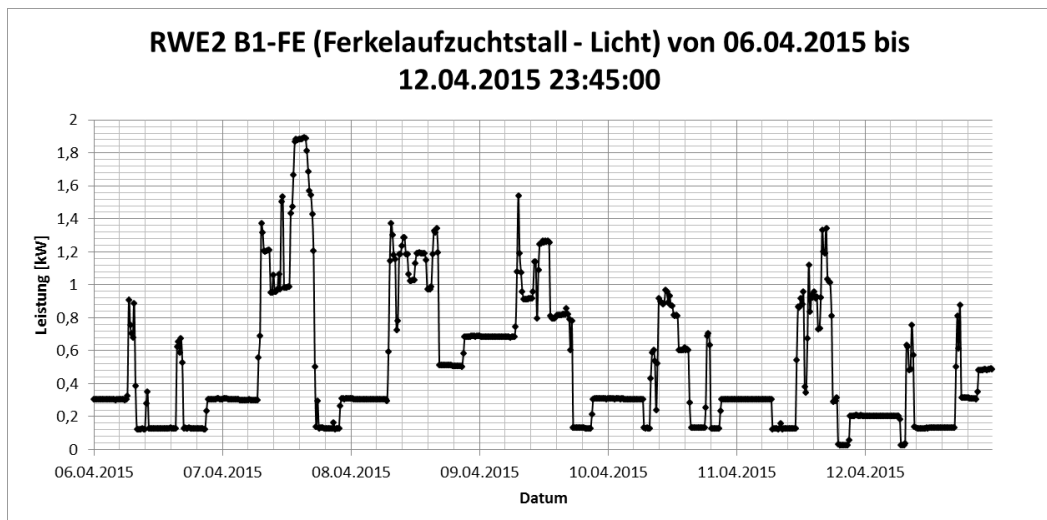


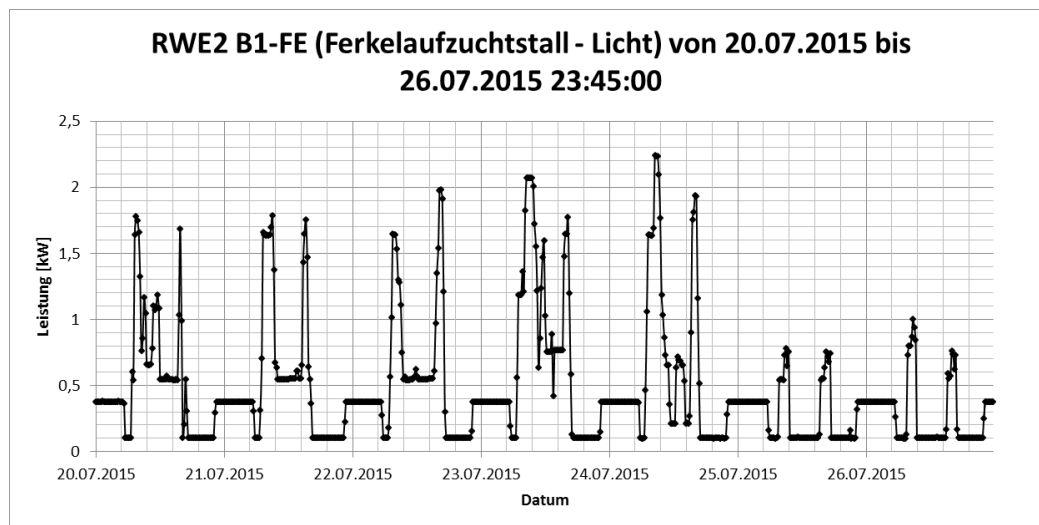
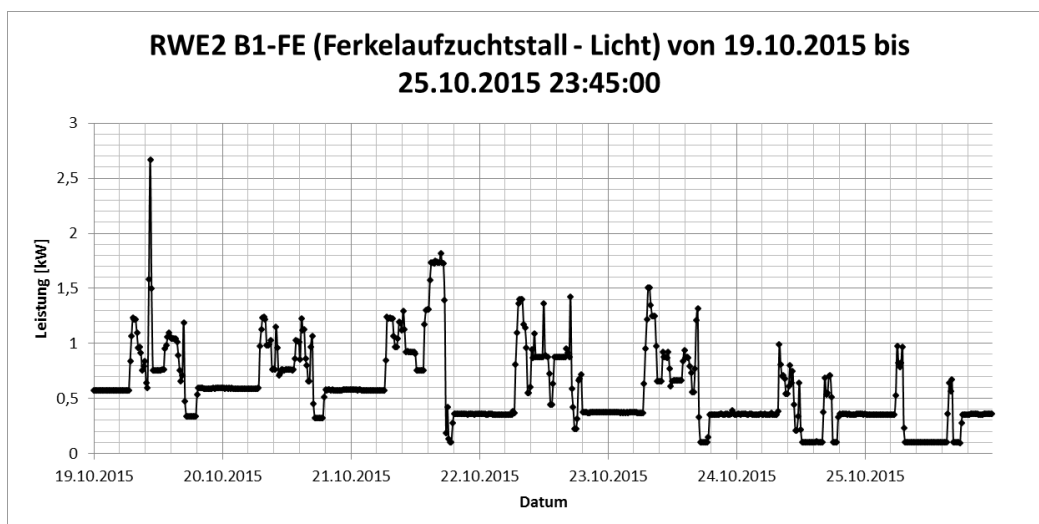
Ausgewählte Messreihen – wöchentlich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE2 FE-Fütterung

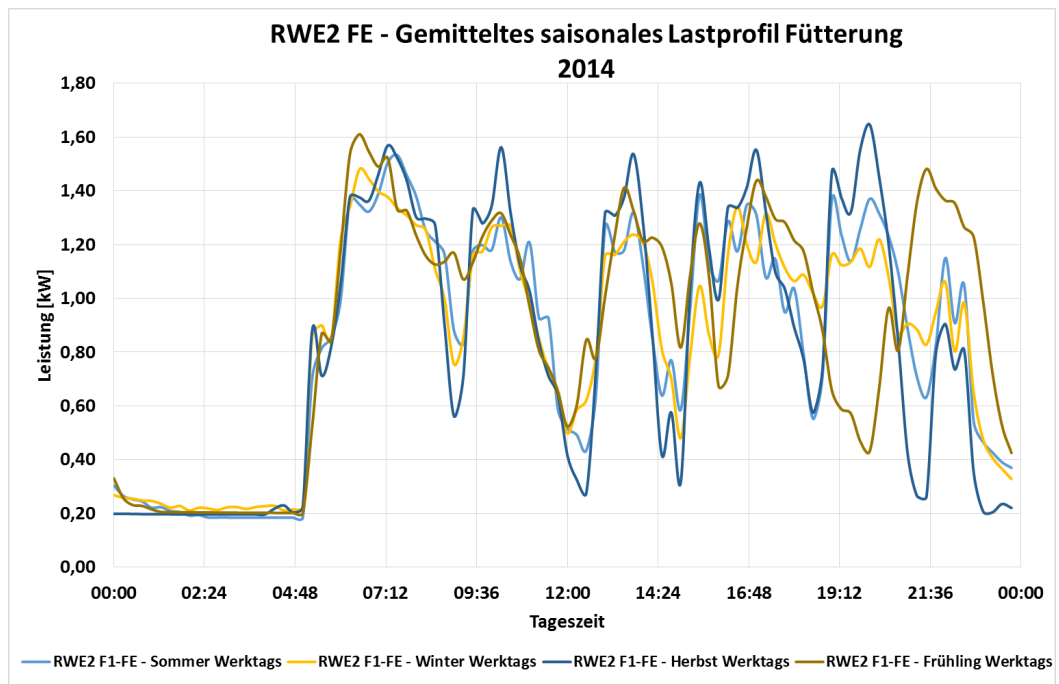


Abbildung 135: RWE2-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014

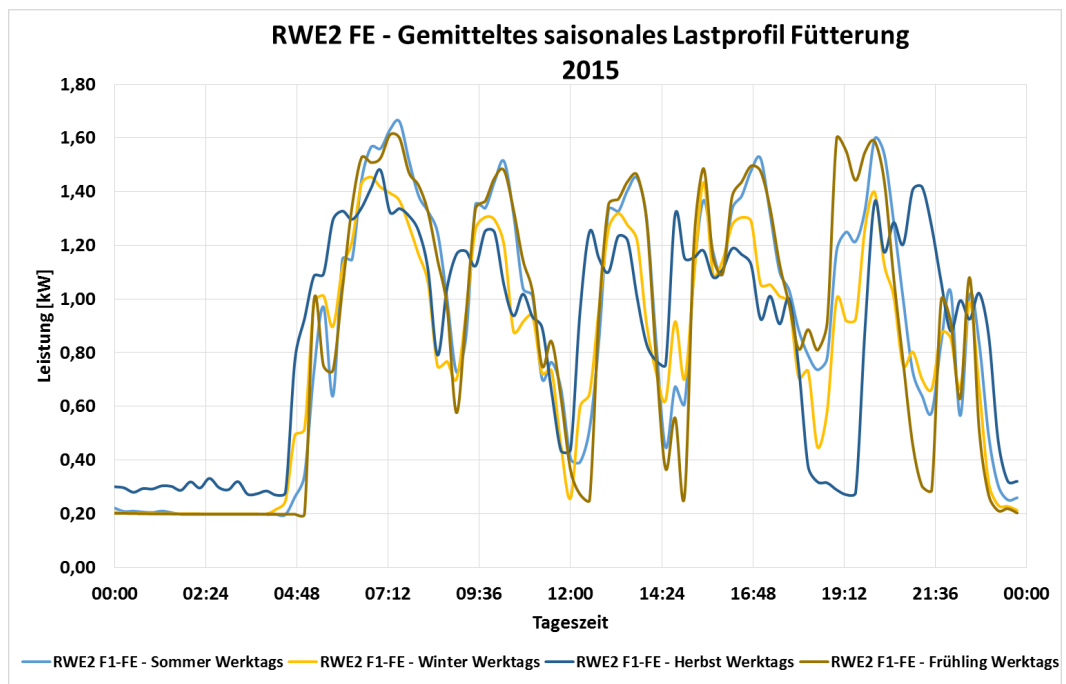


Abbildung 136: RWE2-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015

Anhang D: RWE4

RWE4 SA-Lüftung

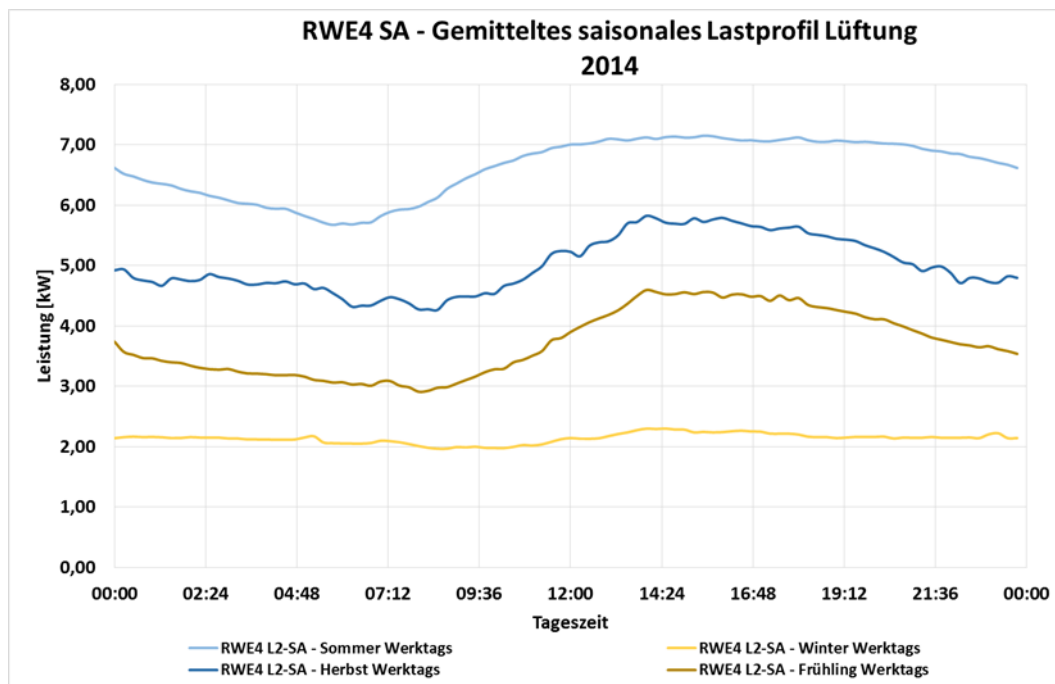


Abbildung 137: RWE4-SA Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014

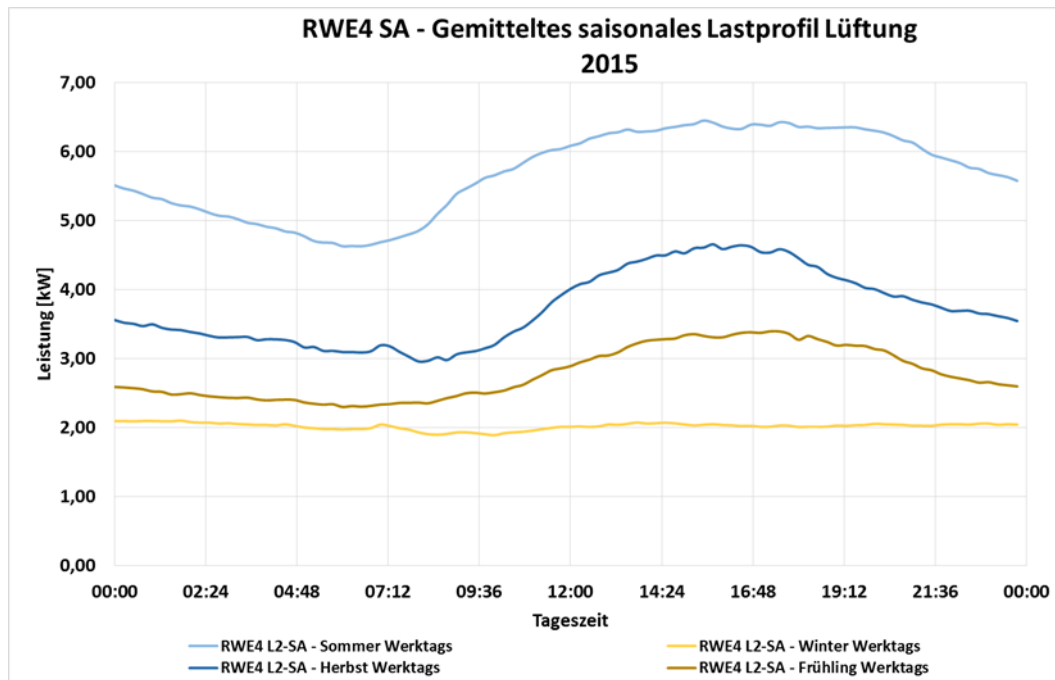


Abbildung 138: RWE4-SA Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015

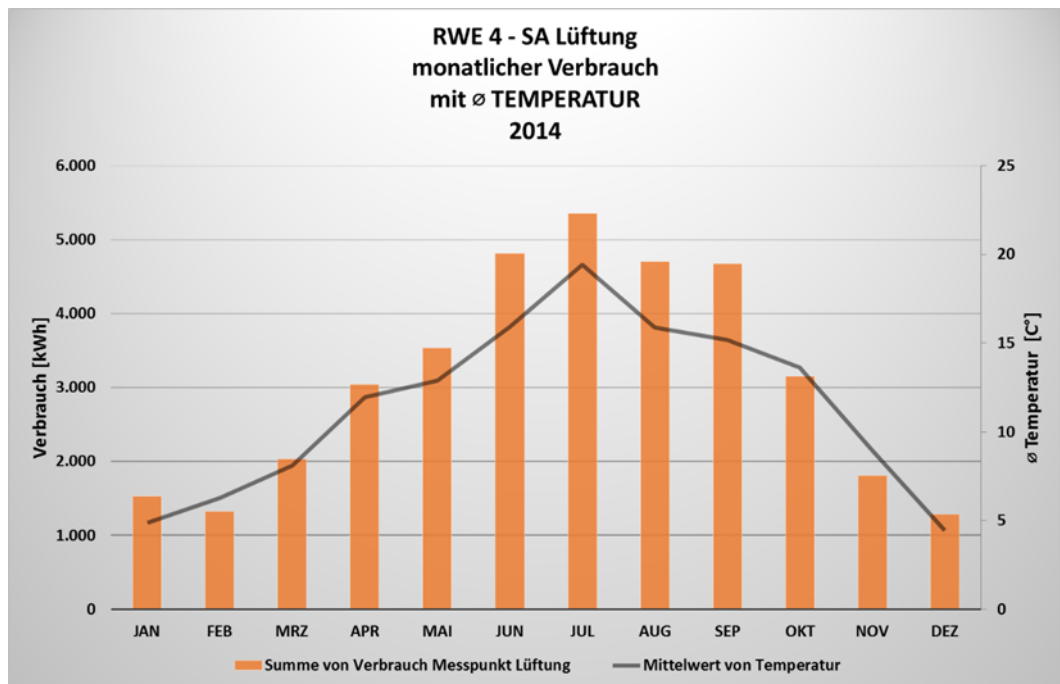


Abbildung 139: RWE4-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014

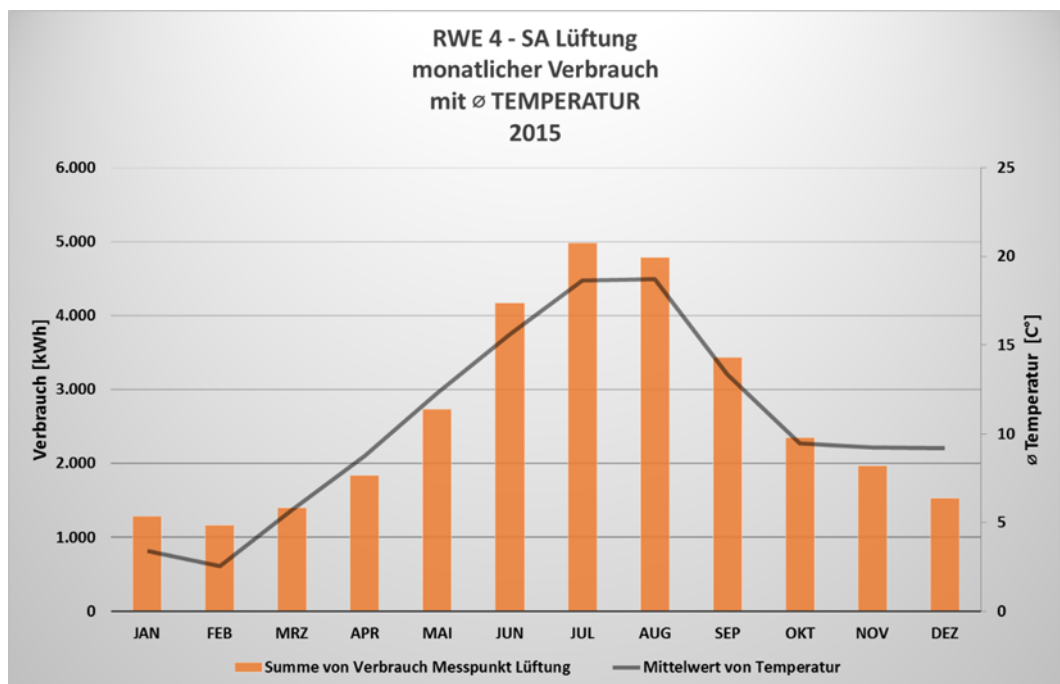


Abbildung 140: RWE4-SA Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015

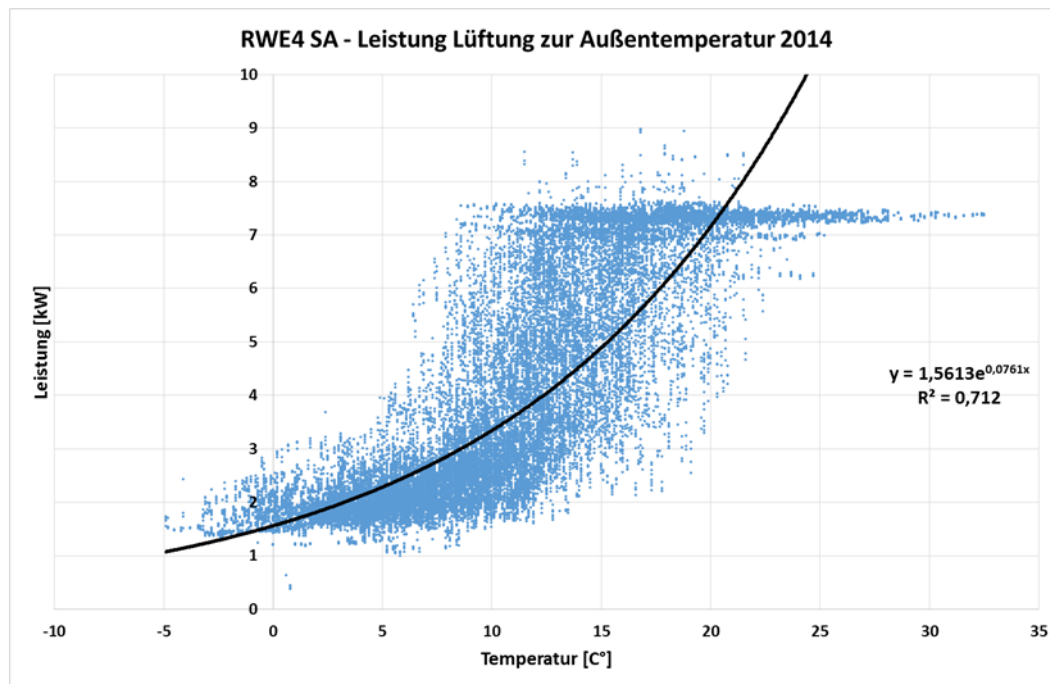


Abbildung 141: RWE4-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014

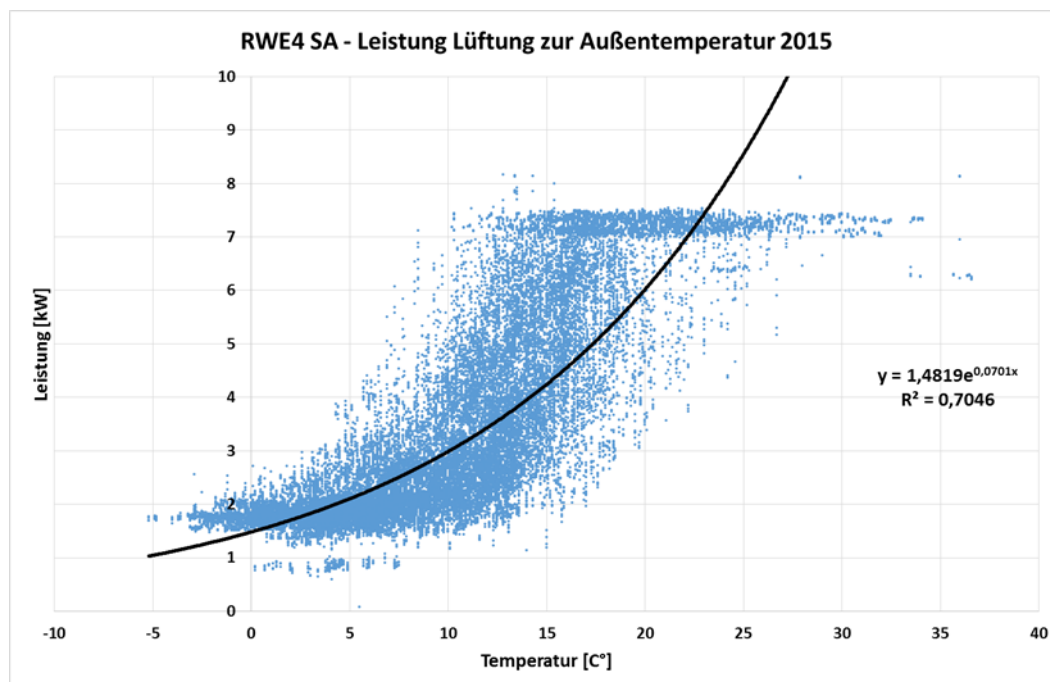


Abbildung 142: RWE4-SA Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015

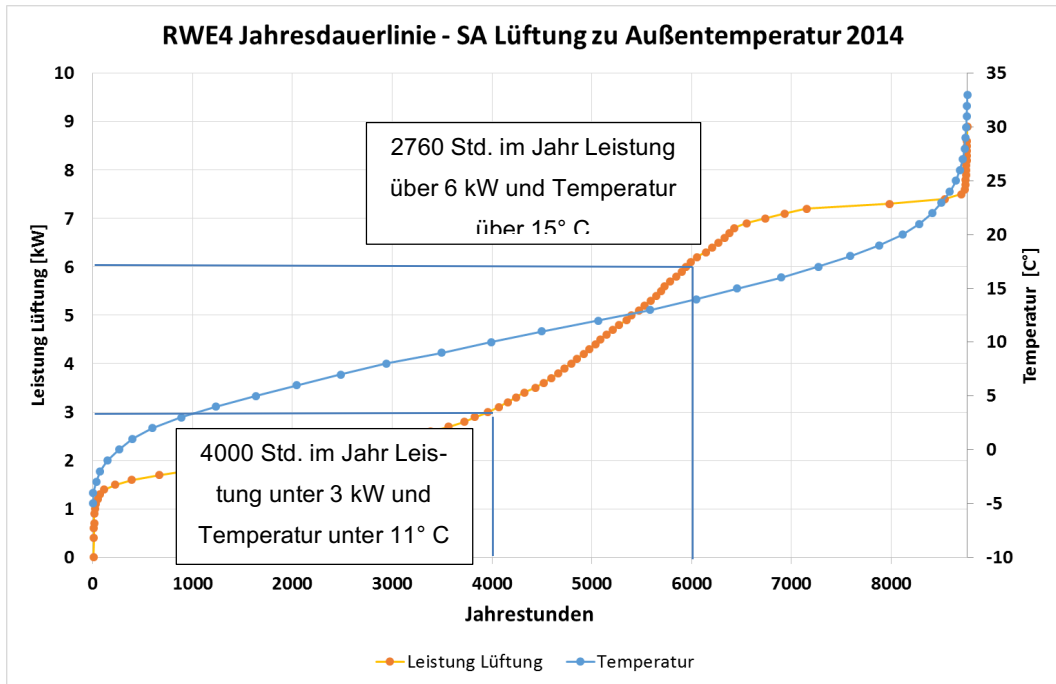


Abbildung 143: RWE4-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2014

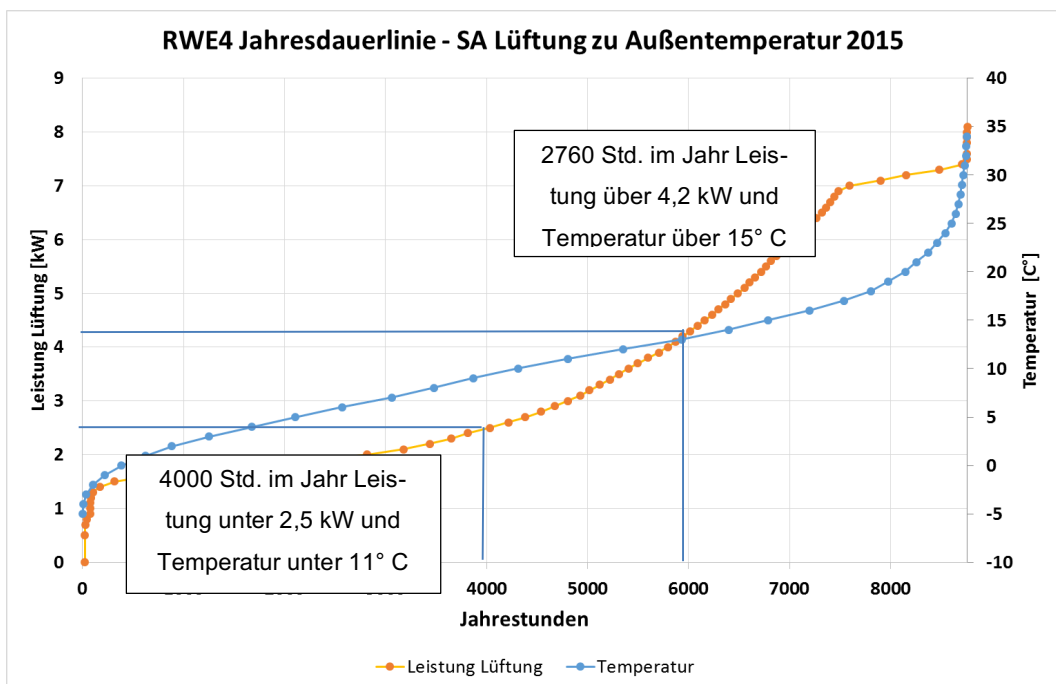
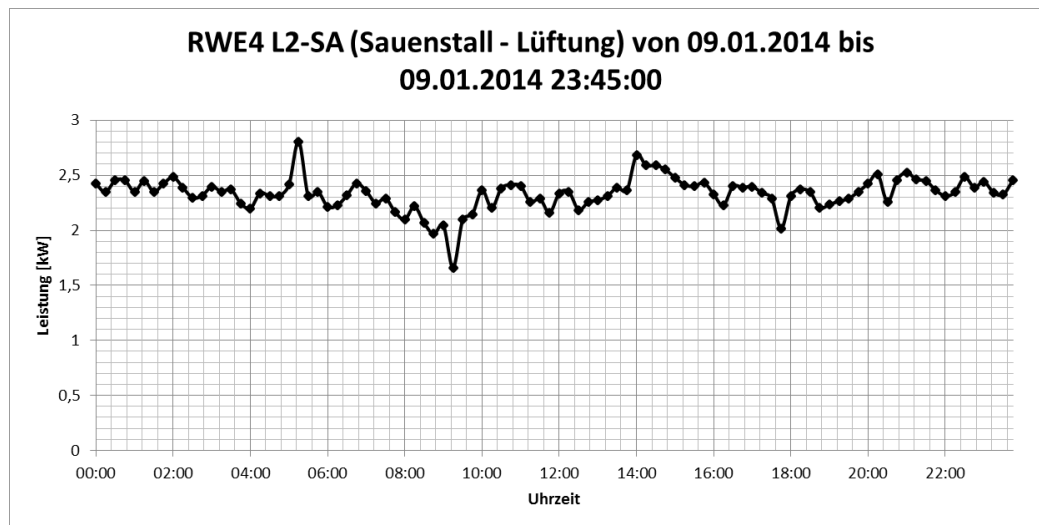


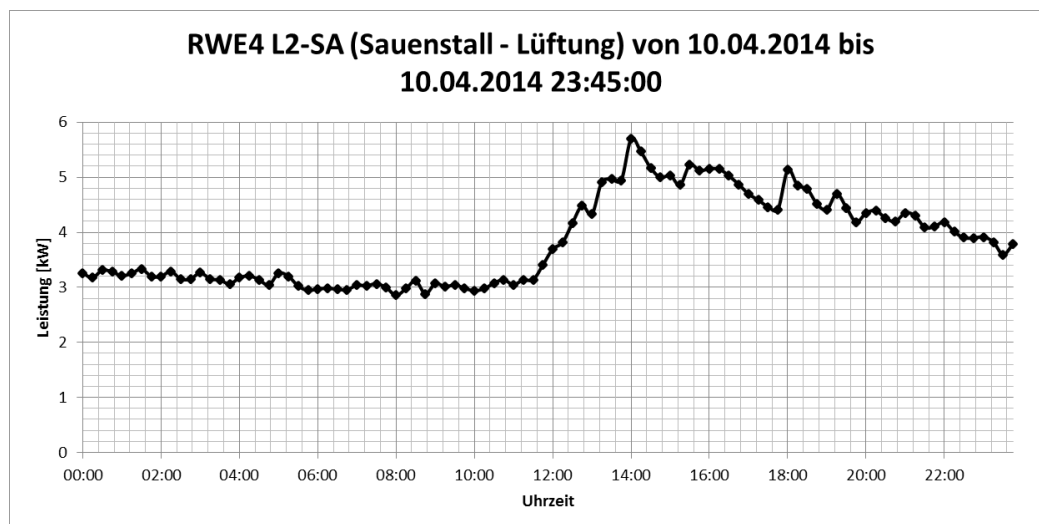
Abbildung 144: RWE4-SA Jahresdauerlinie Lüftung 2015

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014

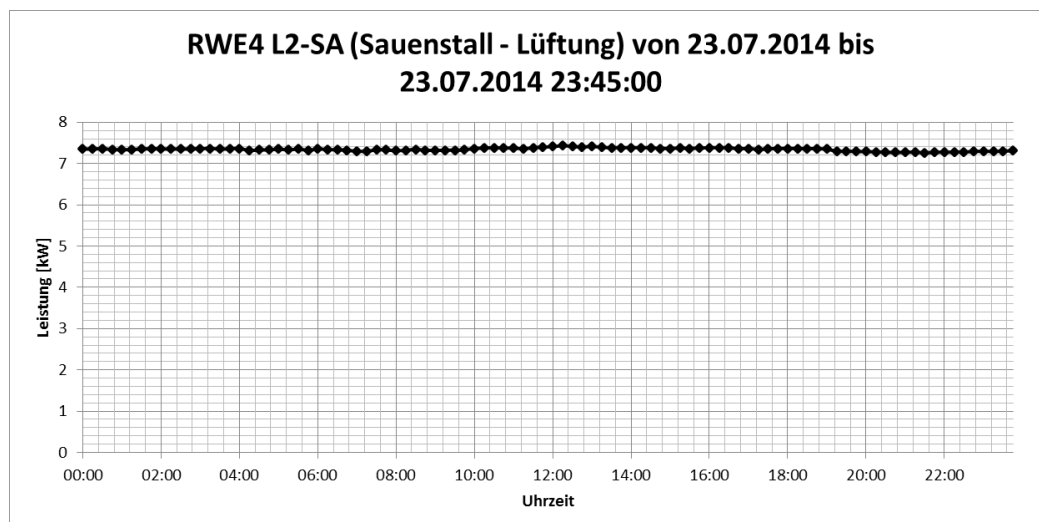
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)

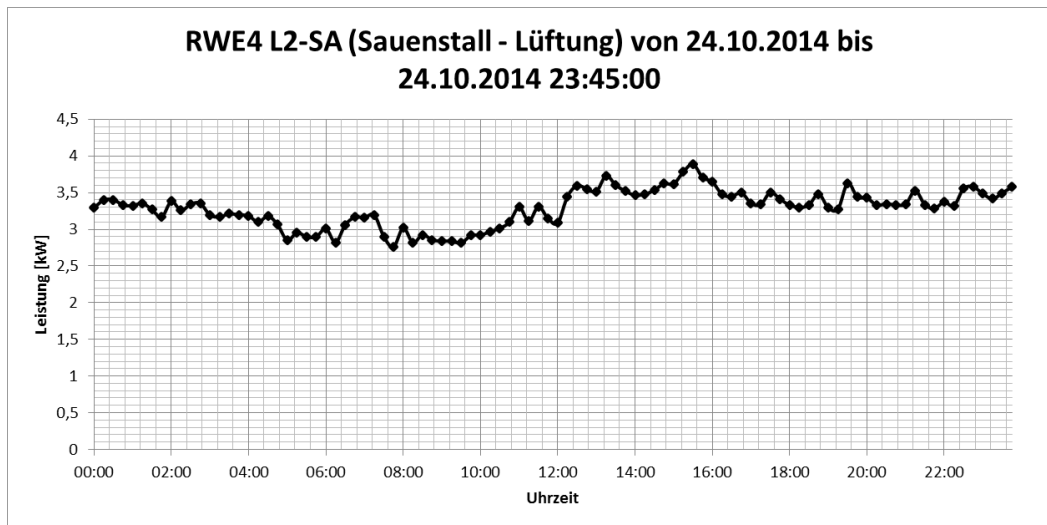
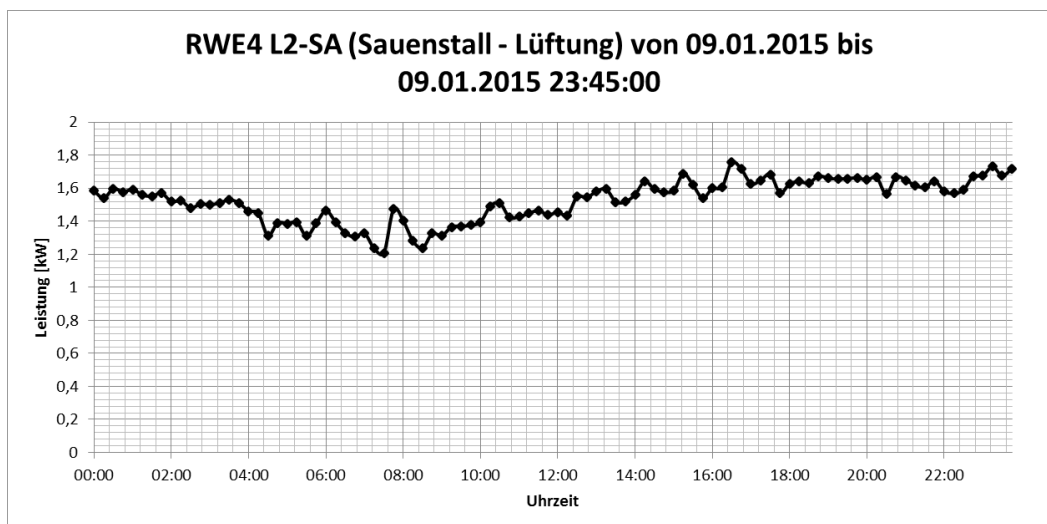
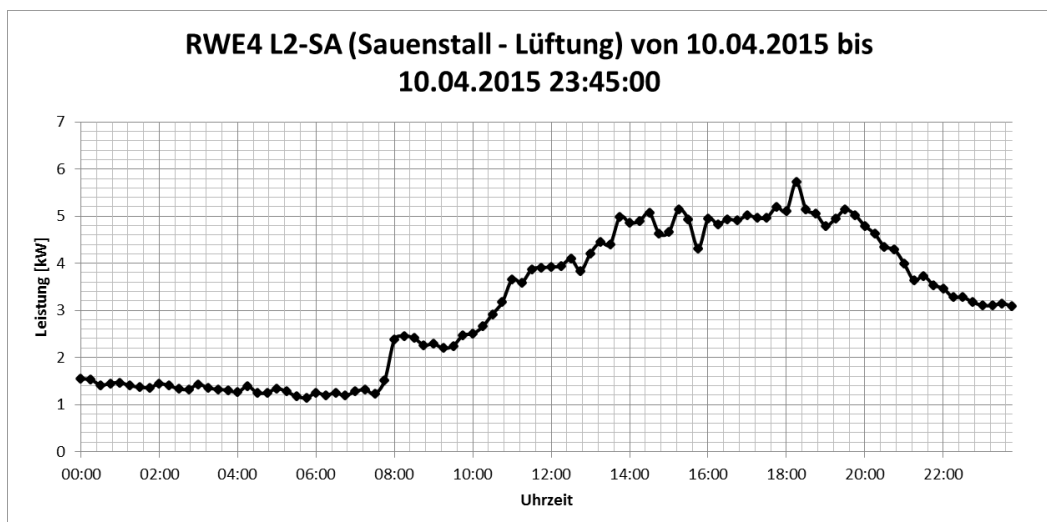


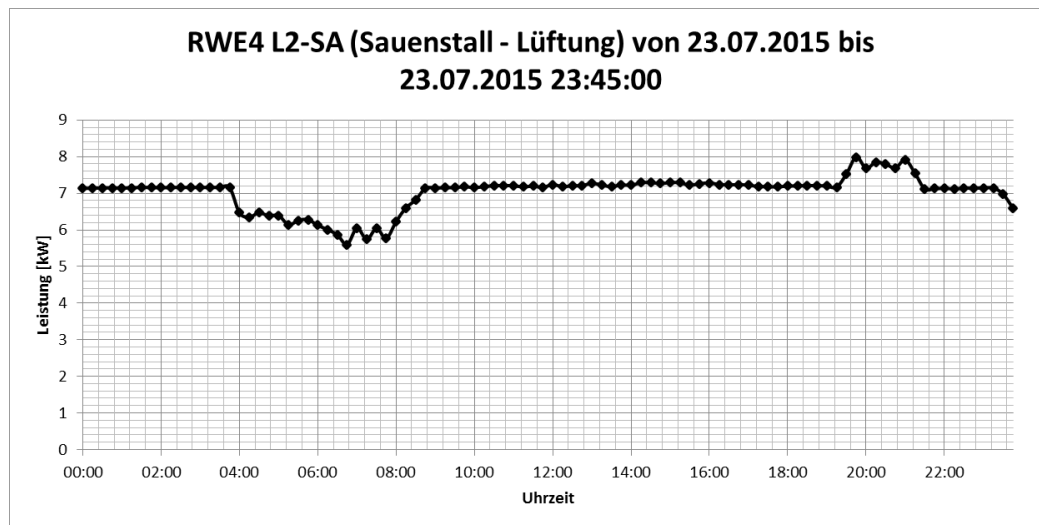
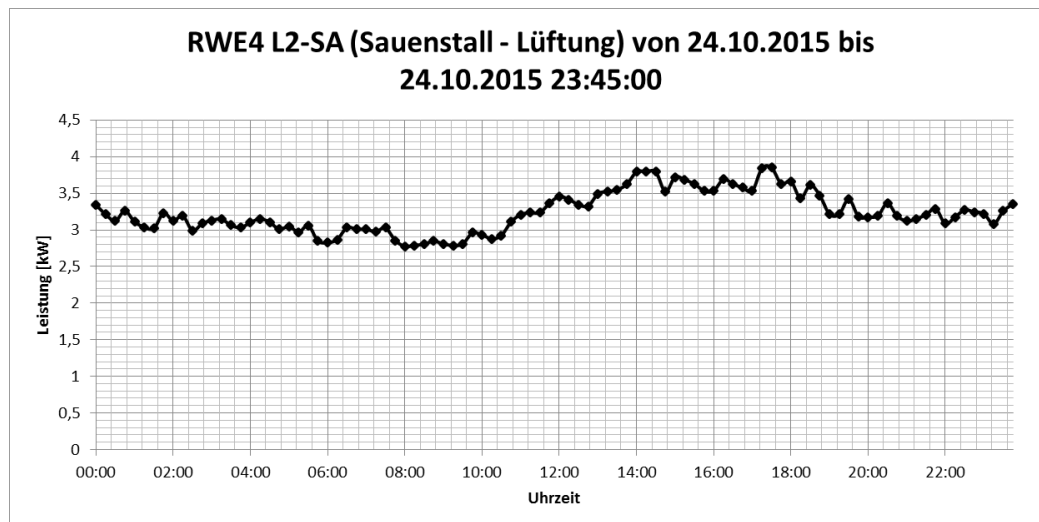
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)



Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)**Ausgewählte Messreihen – täglich 2015****Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)****Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)**

Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE4 SA-Fütterung

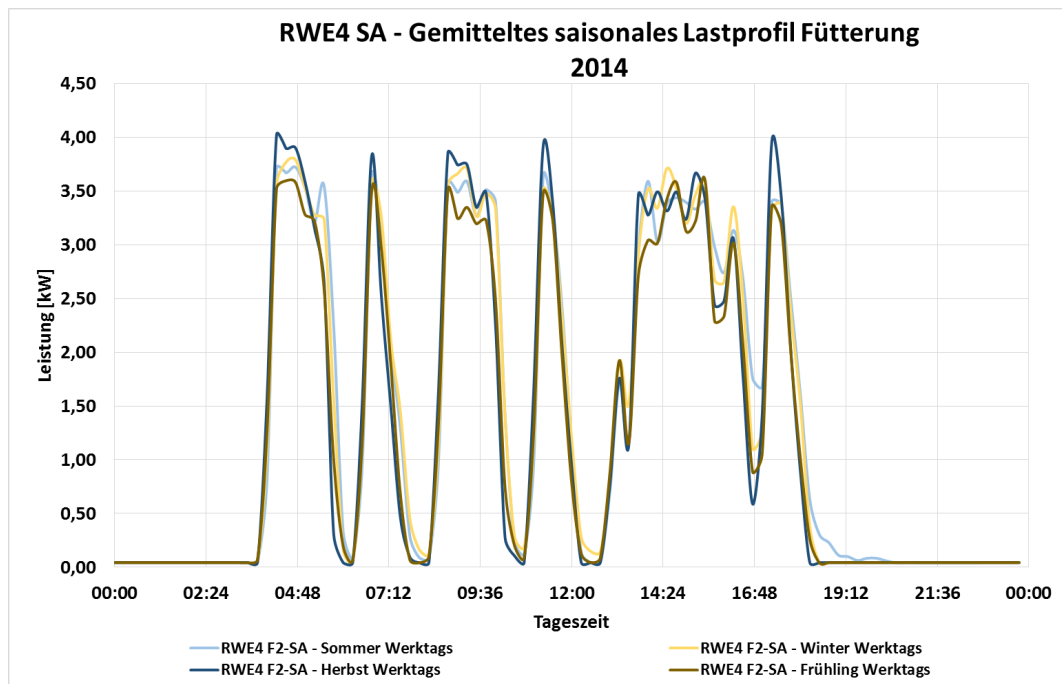


Abbildung 145: RWE4-SA Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014

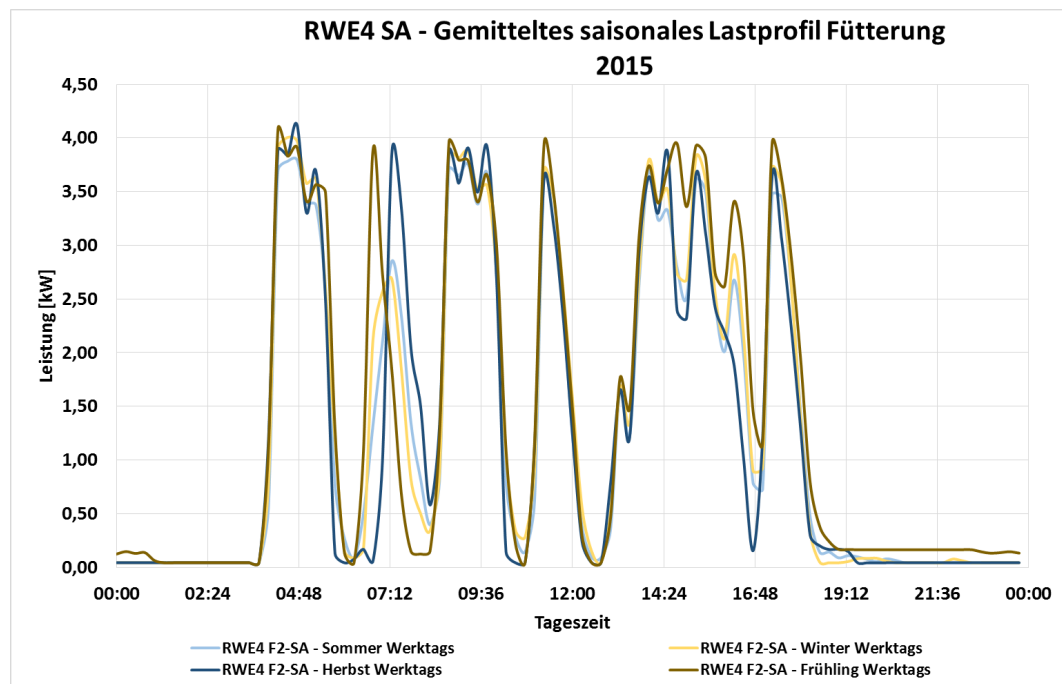


Abbildung 146: RWE4-SA Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015

RWE4 FE-Lüftung

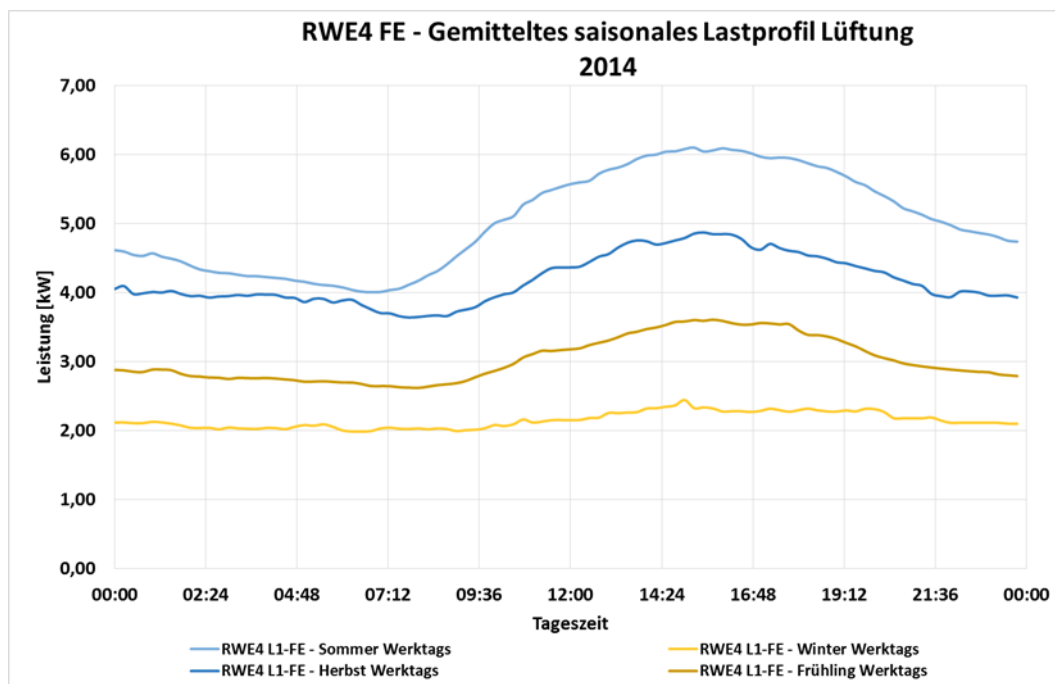


Abbildung 147: RWE4-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2014

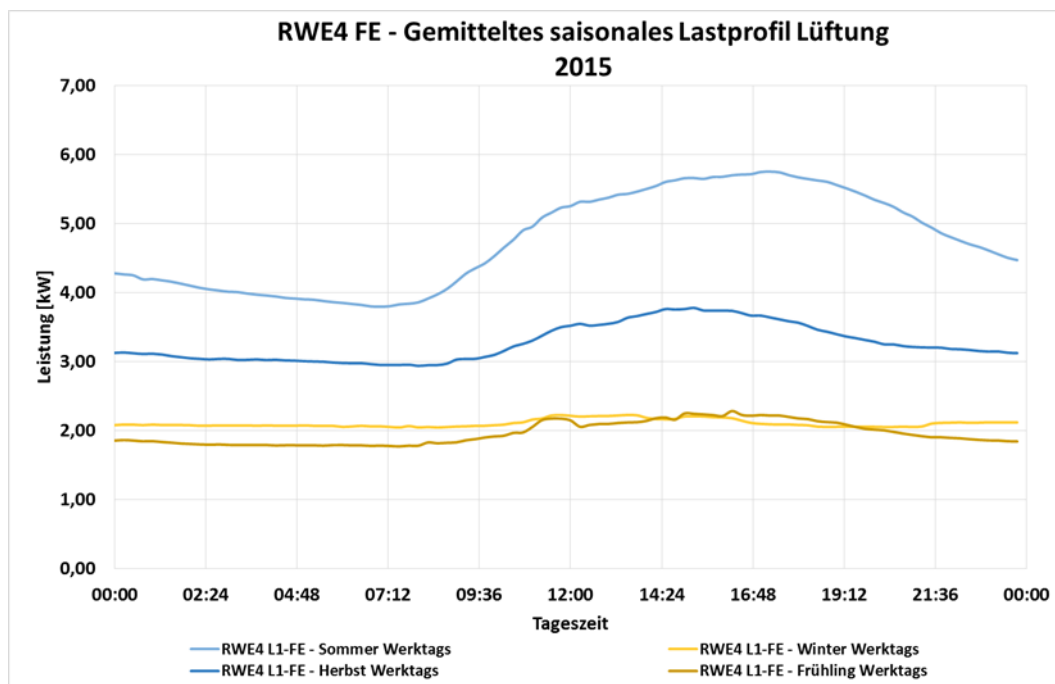


Abbildung 148: RWE4-FE Gemittelttes saisonales Tageslastprofil Lüftung 2015

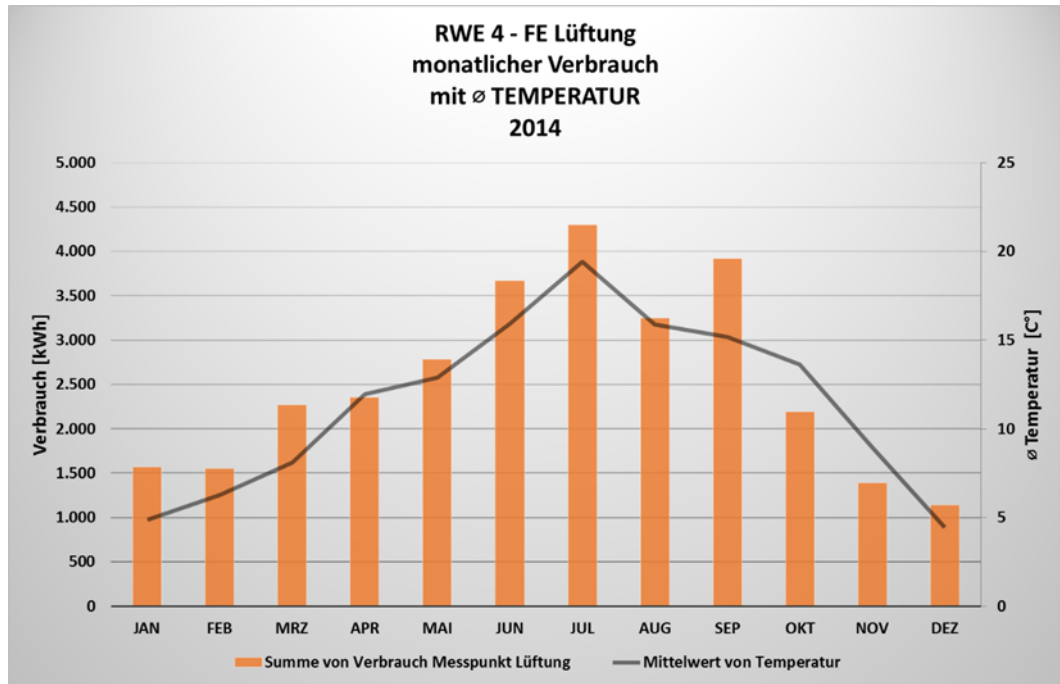


Abbildung 149: RWE4-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2014

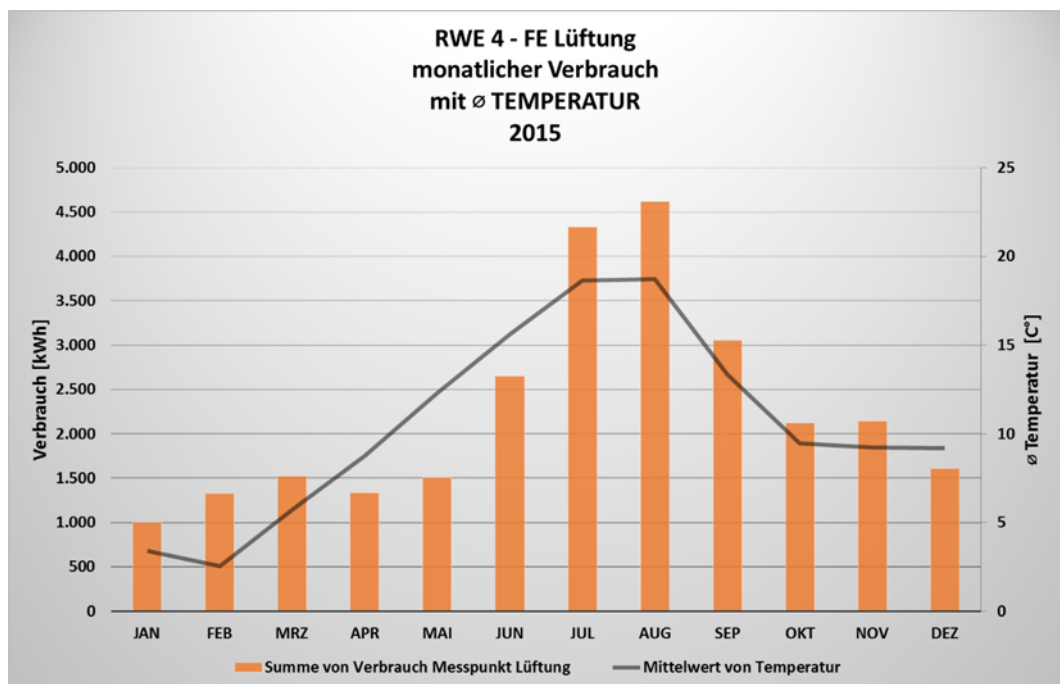


Abbildung 150: RWE4-FE Monatsverbrauch Lüftung zur Außentemperatur 2015

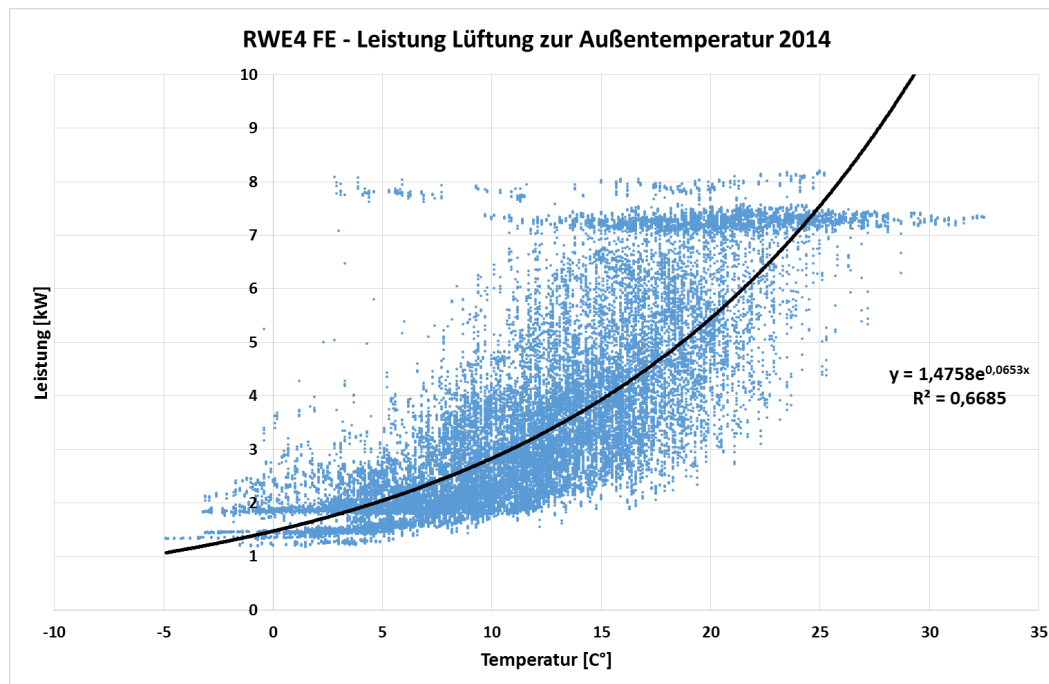


Abbildung 151: RWE4-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2014

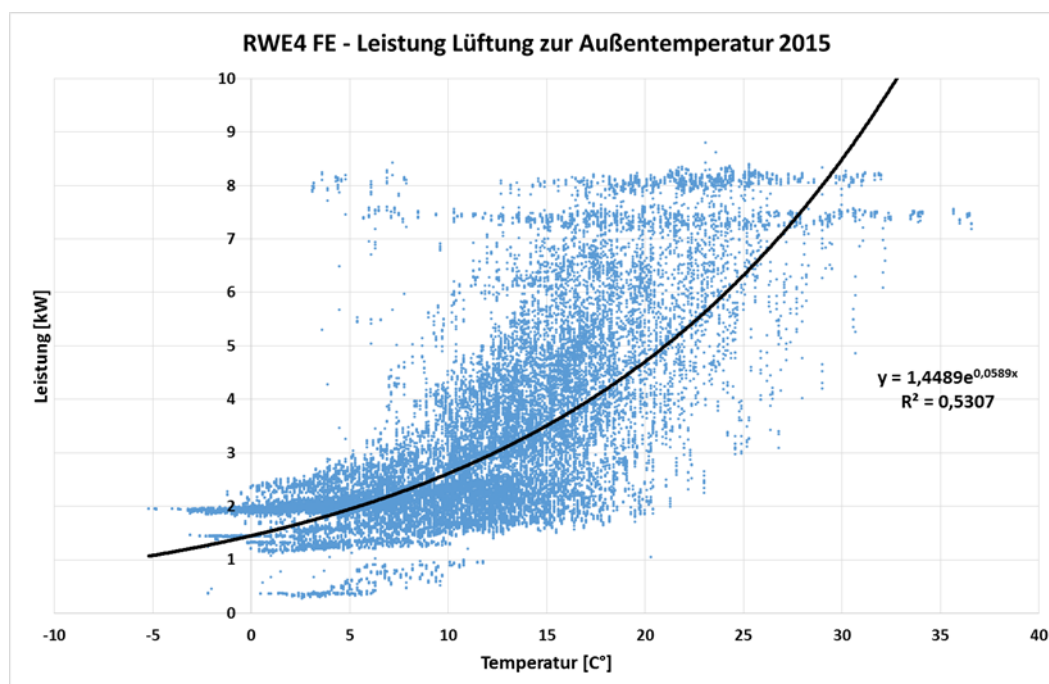


Abbildung 152: RWE4-FE Leistung Lüftung zur Außentemperatur 2015

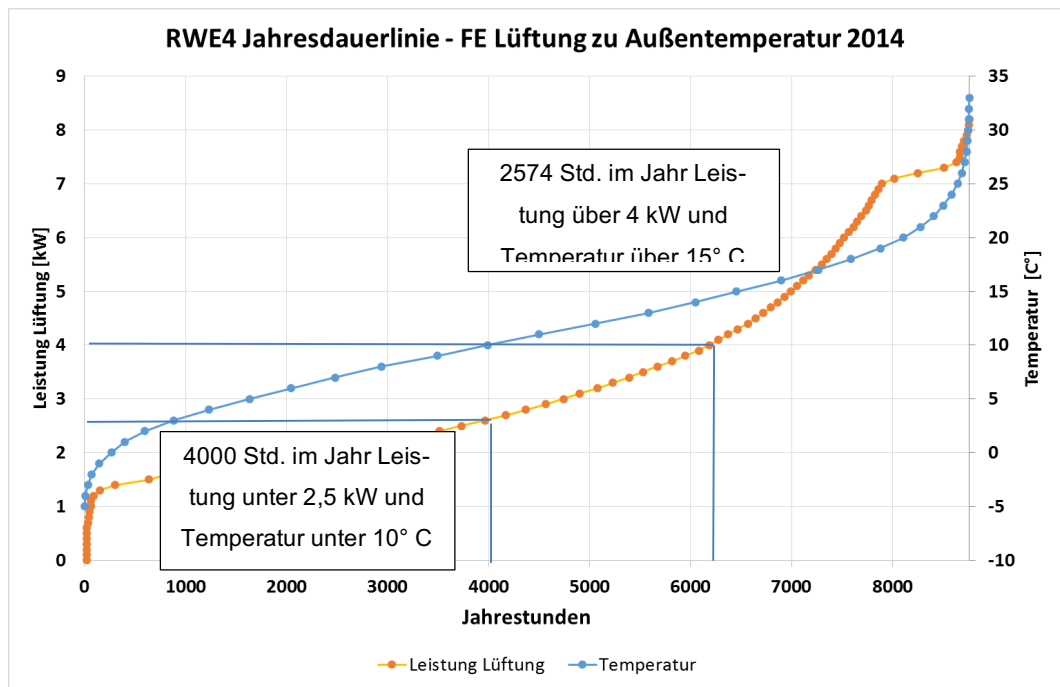


Abbildung 153: RWE4-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2014

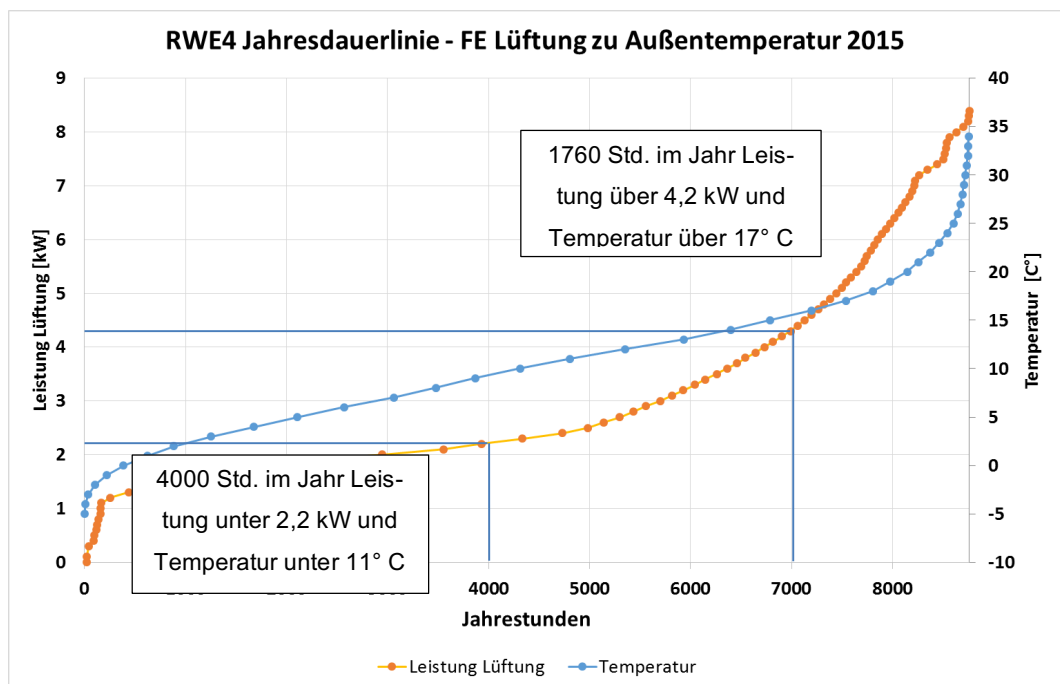
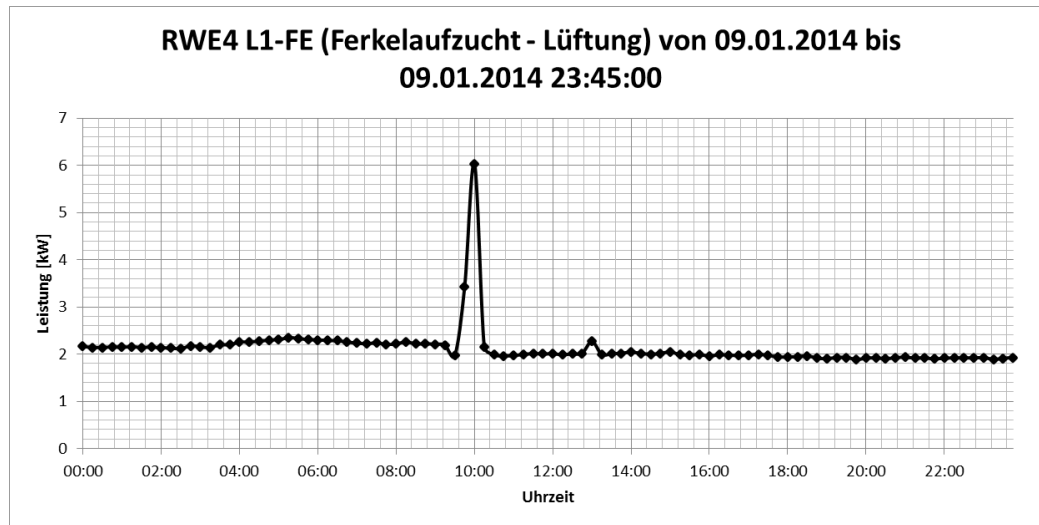


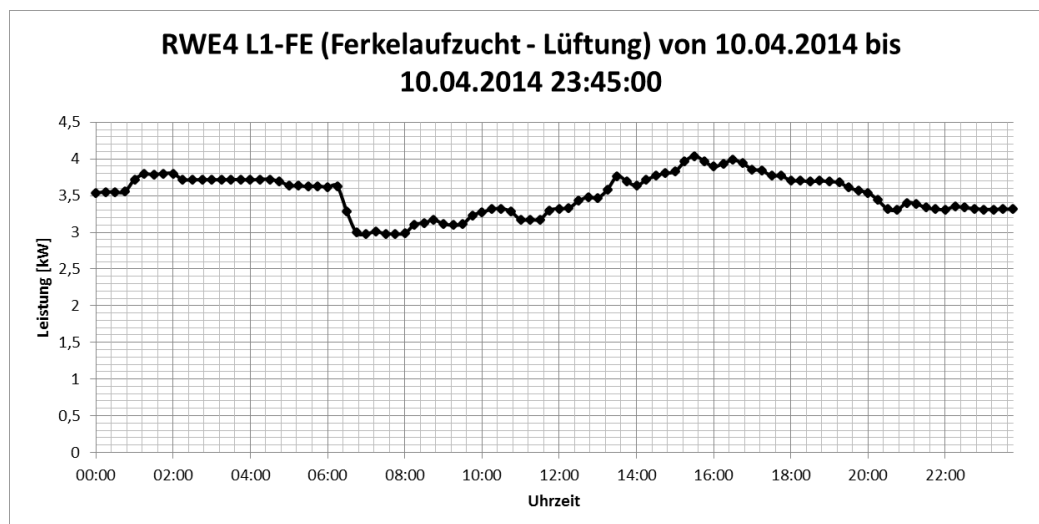
Abbildung 154: RWE4-FE Jahresdauerlinie Lüftung 2015

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014

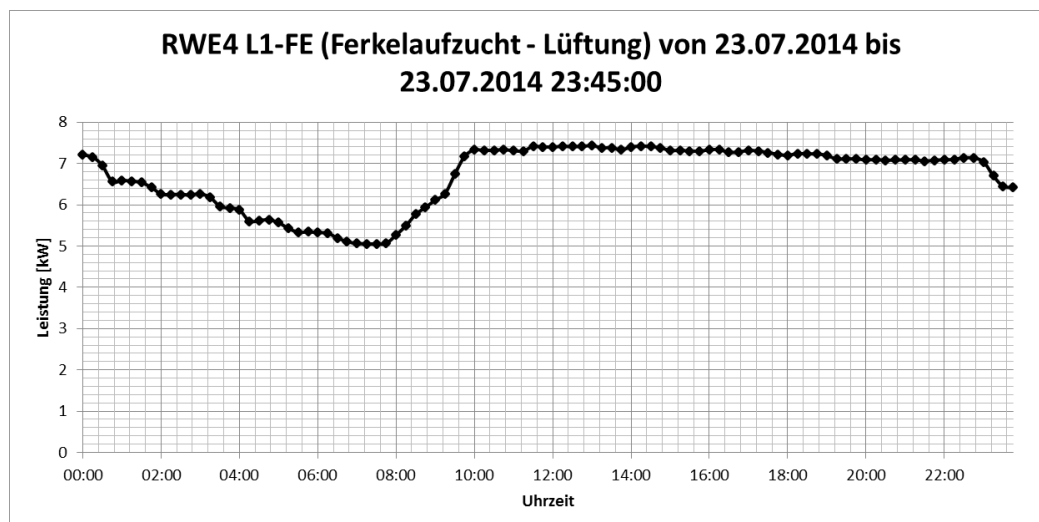
Winter: 1.1.2014 - 20.3. und 1.11.2014 - 31.12.2014 (Wintermonate)



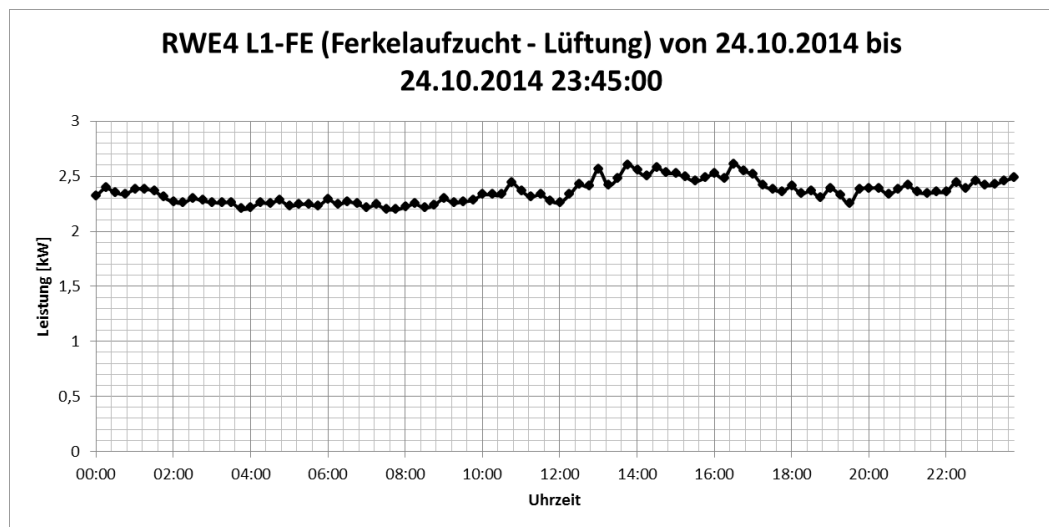
Frühling: 21.3.2014 - 14.5.2014 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2014 - 14.9.2014 (Sommermonate)

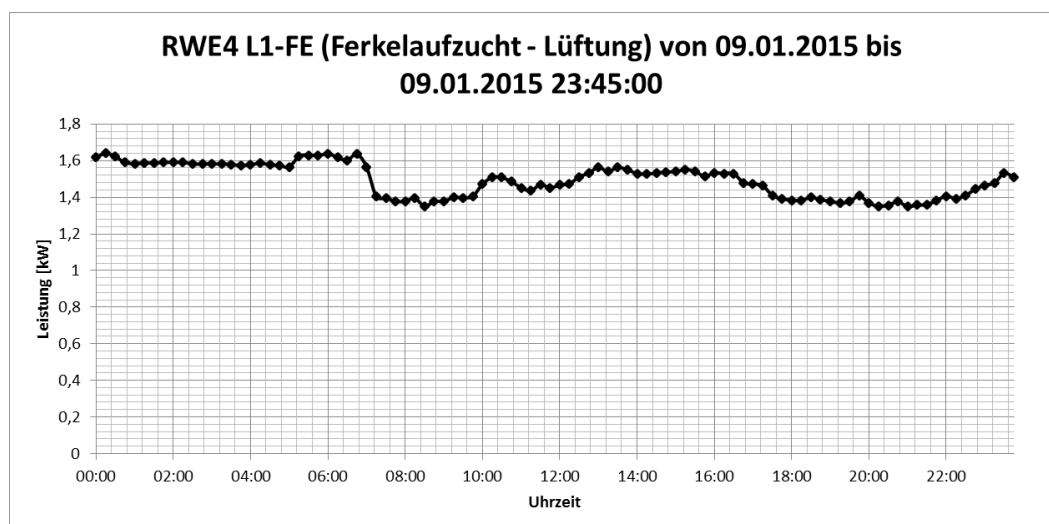


Herbst: 15.9.2014 - 31.10.2014 (Übergangsmonate - Herbst)

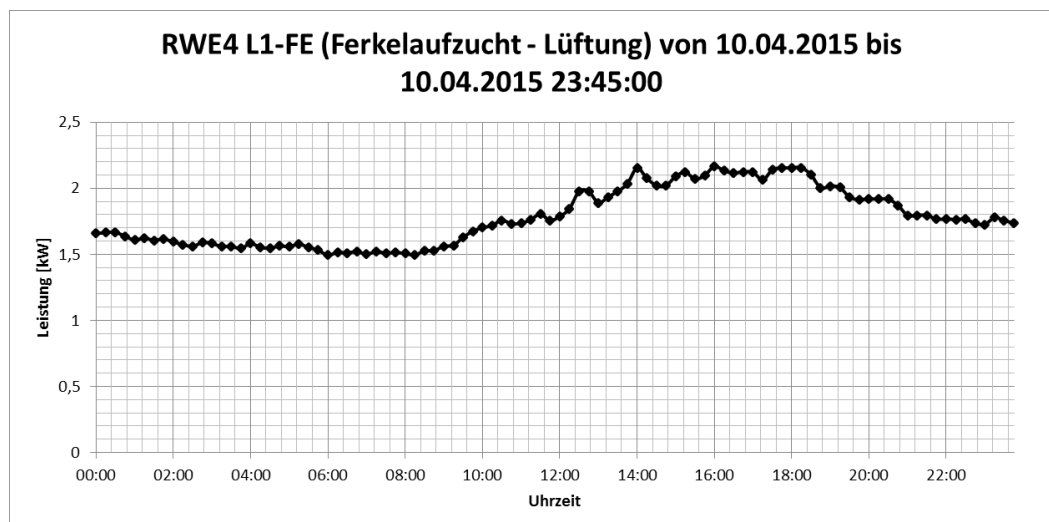


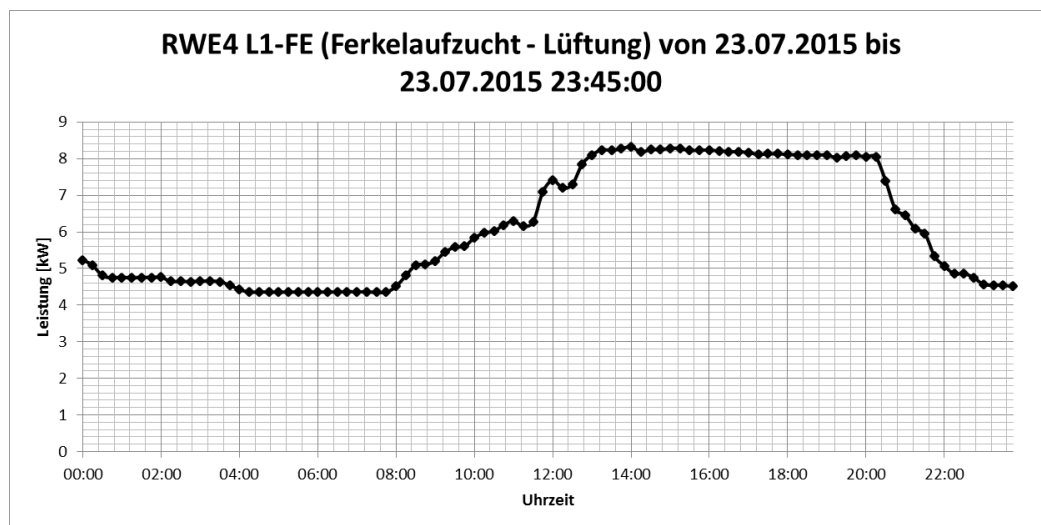
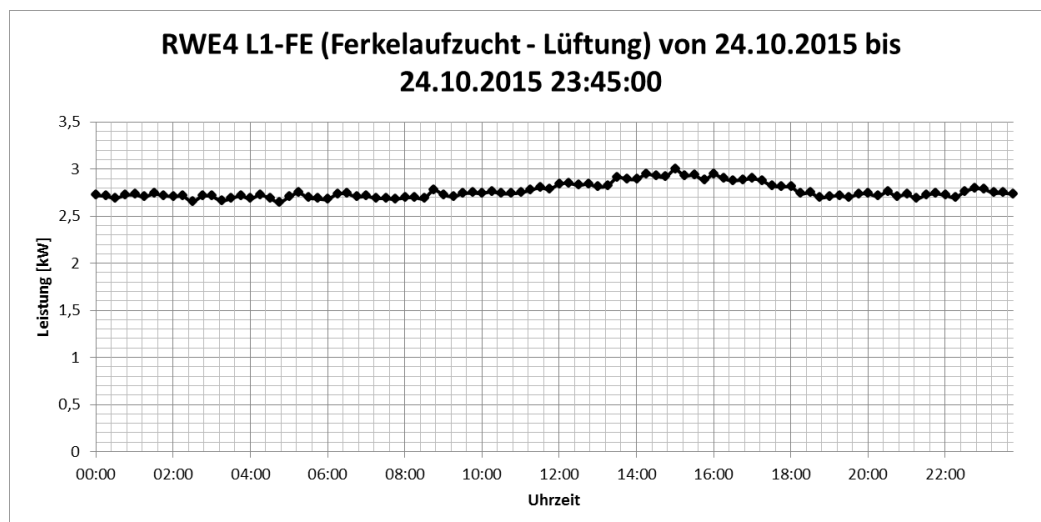
Ausgewählte Messreihen – täglich 2015

Winter: 1.1.2015 - 20.3. und 1.11.2015 - 31.12.2015 (Wintermonate)



Frühling: 21.3.2015 - 14.5.2015 (Übergangsmonate - Frühling)



Sommer: 15.5.2015 - 14.9.2015 (Sommermonate)**Herbst: 15.9.2015 - 31.10.2015 (Übergangsmonate - Herbst)**

RWE4 FE-Fütterung

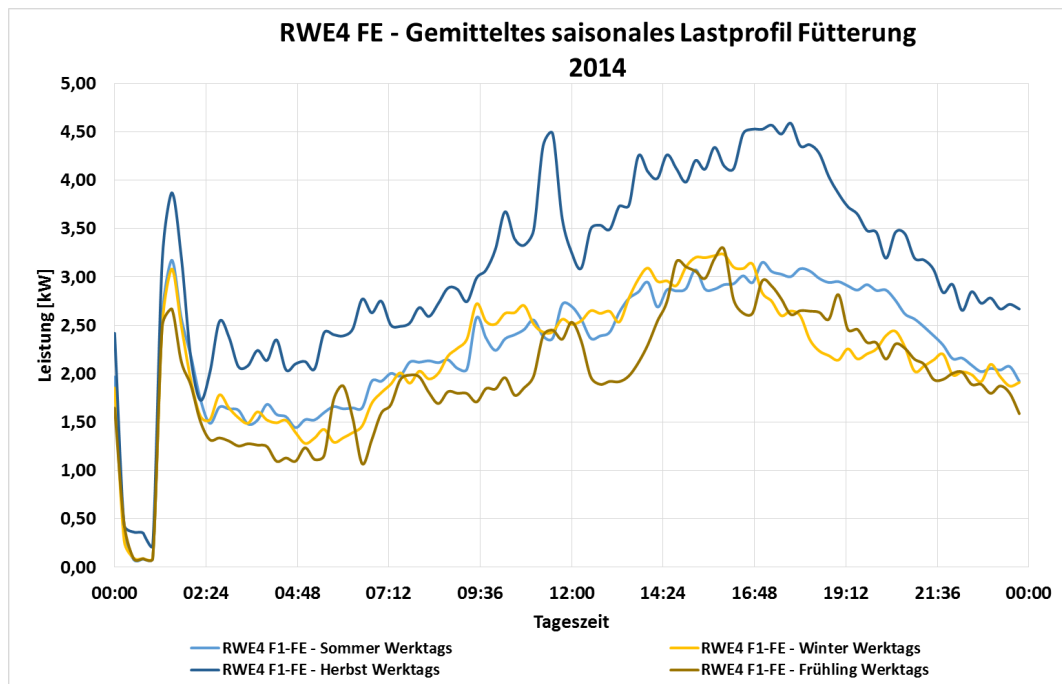


Abbildung 155: RWE4-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2014

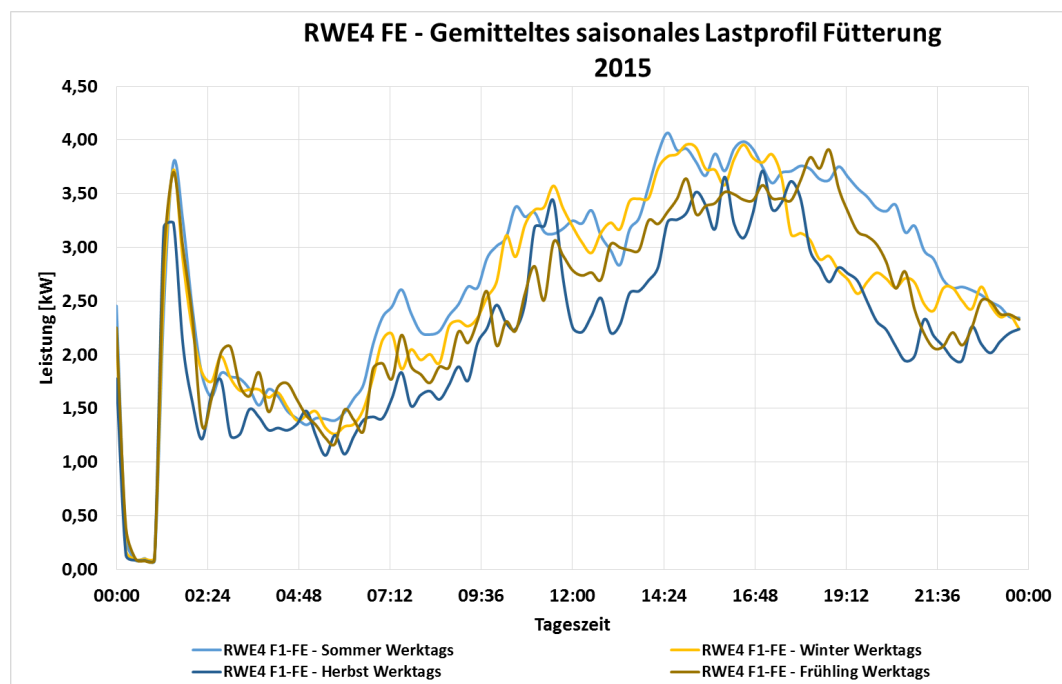
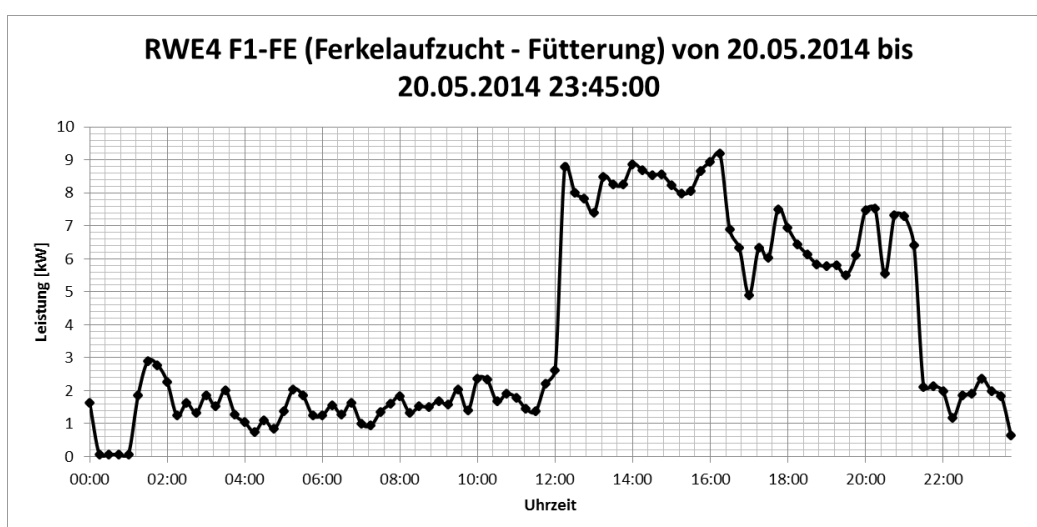
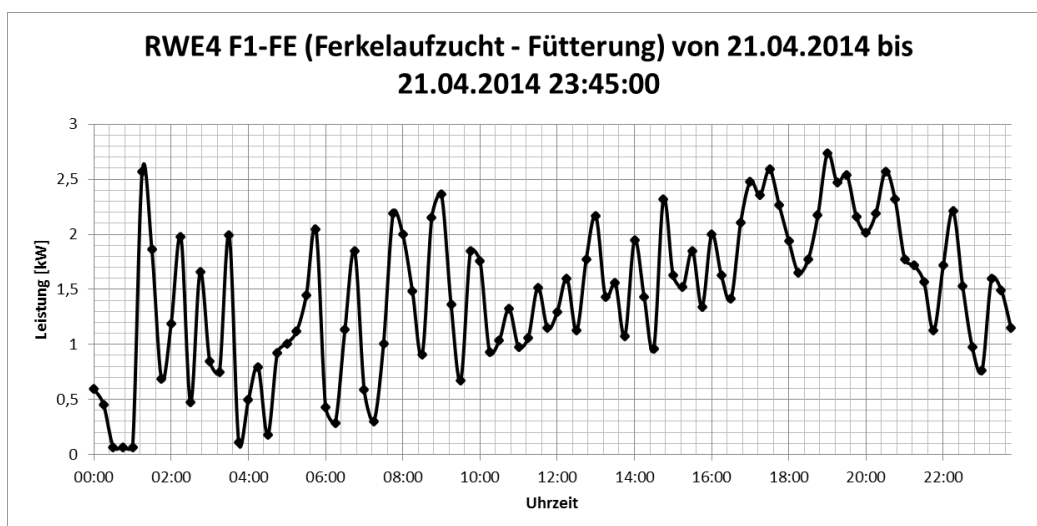
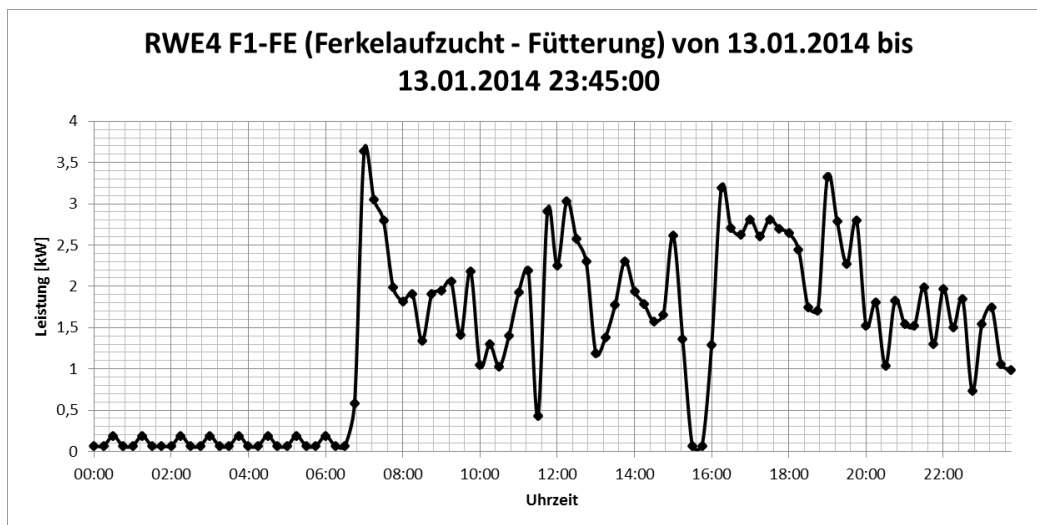


Abbildung 156: RWE4-FE Gemitteltes saisonales Tageslastprofil Fütterung 2015

Ausgewählte Messreihen – täglich 2014



Ausgewählte Messreihen – täglich 2015