

**Energieinstitut Vorarlberg**

Wir beraten, bilden  
und forschen für  
sinnvollen Energieeinsatz  
und erneuerbare  
Energieträger.

# Evaluation von öffentlichen Gebäuden

(Projektnummer 13.660)

## Gemeindezentrum St. Gerold

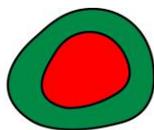
- Abschlussbericht -

Dipl.-Ing. (FH) Michael Braun, M.Sc.

Energieinstitut Vorarlberg

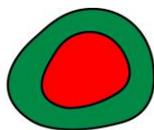
Bereich Energieeffizientes und ökologisches Bauen

Dornbirn, 09.09.2013



## **Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	3
Ausgangslage / Problemstellung .....	5
Vorgehen .....	6
Analyse .....	11
Detailanalysen Haustechnik .....	18
Messung Heizung (Hilfsstrom ohne WP) – Lüftung - Klima .....	18
Messung Wärmepumpe .....	21
Messung Spielgruppe .....	22
Messung E-Patrone .....	26
Messung Verwaltung .....	28
Fazit .....	30
Anhang .....	32



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Starker Rostbefall an den Verschraubungen der Regeleinrichtungen .....	6
Abbildung 2: Überblick Haustechnikraum (links: Kälteaggregate; Mitte: Pufferspeicher; rechts: Wärmepumpe (rot)) .....	7
Abbildung 3: Zentrale Lüftungsanlage .....	8
Abbildung 4: Empfangseinheiten der zeitlich hochaufgelösten dreiphasigen Stromzähler .....	9
Abbildung 5: Zähleraufbau (oben: Ringkernsensoren zur Erfassung der Stromstärke; unten: Funktransmitter für Datenübertragung an Empfangseinheiten).....	10
Abbildung 6: Messungen an der Elektro-Heiz-Patrone .....	10
Abbildung 7: Darstellung des gesamten Verbrauchs während der Messperiode (24.2.-3.7.2012).....	11
Abbildung 8: Aufteilung der differenzierten Verbräuche nach Monaten während der Messperiode.....	11
Abbildung 9: Zwei Kältemaschinen für Versorgung der Kühlmöbel (oben: Tiefkühlung; unten: Pluskühlung) .....	12
Abbildung 10: Gegenüberstellung der Heizgradtage (HGT) der Messung (rot) zu den Werten in der Berechnung (blau) .....	13
Abbildung 11: Monatliche Gegenüberstellung der gerechneten, klimakorrigierten Endenergiebedarfe (blau) zu den tatsächlich gemessenen Endenergieverbräuchen (rot) für die Wärmepumpe .....	14
Abbildung 12: Kumulierter Verbrauch / Bedarf an Endenergie für Wärmepumpe (rot: Messung; blau: Berechnung mit 20°C Raumtemperatur; blau-weiß gepunktet (mittlerer Balken): Berechnung mit 22°C Raumtemperatur).....	15
Abbildung 13: Monatliche Darstellung des Stromverbrauchs für das restliche Gebäude (ohne Wärmepumpe) .....	16
Abbildung 14: Monatliche Darstellung des Stromverbrauchs für das restliche Gebäude (ohne Wärmepumpe) - gruppiert nach Monaten und Jahr .....	17
Abbildung 15: Kumulierter Stromverbrauch gesamt ohne Wärmepumpe.....	17
Abbildung 16: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Winterperiode).....	18

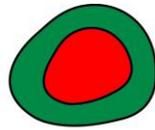
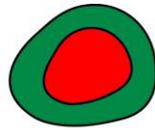


Abbildung 17: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Sommerperiode).....	19
Abbildung 18: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Winterperiode – Tagesauflösung).....	20
Abbildung 19: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Winterperiode – Stundenauflösung) .....	20
Abbildung 20: Leistungsaufnahme der Wärmepumpe an einem Wintertag.....	21
Abbildung 21: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Winter (mehrere Tage) .....	23
Abbildung 22: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Winter (ein Tage).....	23
Abbildung 23: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Sommer (mehrere Tage) .....	24
Abbildung 24: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Sommer (komplettes Wochenende) .....	25
Abbildung 25: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Sommer (ein Tag) .....	25
Abbildung 26: Leistungsaufnahme der Heizpatrone im Winter (ein Stunde) .....	26
Abbildung 27: Leistungsaufnahme der Heizpatrone an einem Sommertag.....	27
Abbildung 28: Leistungsaufnahme der Verwaltungsebene im Winter (mehrere Tage).....	28
Abbildung 29: Leistungsaufnahme der Verwaltungsebene im Winter (einTag) .....	29
Abbildung 30: Datenauswertung (Zusammenfassung) .....	32



## **Ausgangslage / Problemstellung**

Das Gemeindezentrum St. Gerold wurde als Passivhaus gebaut und als solches auch im September 2009 zertifiziert.

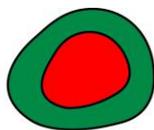
Anfang 2011 wurde durch den Betreuer der Energiebuchhaltung über das e5-Team beim Energieinstitut die Rückmeldung an den Bereich energieeffizientes und ökologisches Bauen weitergegeben, dass der Energieverbrauch beim Gemeindezentrum St. Gerold deutlich zu hoch sei.

Dies wurde zum Anlass genommen, im Rahmen des Projekts *„Evaluierung von öffentlichen Gebäuden“* das Gemeindezentrum näher zu untersuchen.

### **Hinweis:**

Um den Bericht nicht zu überfrachten, wurde bewusst auf die Herleitung sowie das Vorgehen bei der Analyse der Messergebnisse sowie Auswertung der Berechnungen verzichtet bzw. dies verkürzt und vereinfacht wiedergegeben.

Bei Bedarf und Interesse können aber sowohl die Aufbauten, die Detailanalysen sowie die Messdaten beim Autor eingesehen werden. Die Argumentations- und Logikketten werden gerne auch ausführlich erläutert.



## Vorgehen

Folgendes Vorgehen wurde für die Analyse sowie das Ableiten von Maßnahmen getroffen: Ausgehend von den Informationen bei der Problemstellung wurden erste Messdaten des Objekts aus der Energiebuchhaltung sowie dem Energieausweis eingeholt. Zur Unterstützung wurde zeitgleich das Büro Bertsch aus Ludesch damit beauftragt, Daten aus Abrechnungen sowie von Zählern vor Ort zu beschaffen, da dies räumlich bedingt deutlich kürzere Anfahrtswege hat.

Ein erster Vergleich des Endenergieverbrauchs mit den errechneten Werten ergab für das mit einer Wärmepumpe betriebene Gebäude einen Mehrverbrauch von rund 500%. Laut Energieausweis wurde ein Heizenergiebedarf von 3.226 kWh/a errechnet, real lag der Verbrauch im Jahr 2010 aber bei 16.870 kWh/a.

Daraufhin wurde im Frühjahr 2011 eine Ortsbegehung mit dem Ziel durchgeführt, die Betriebsweise des Gebäudes kennen zu lernen. Dies bezog sich vor allem auf eingestellte Parameter und Temperaturen bei der Gebäudetechnik, aber auch auf das Verhalten der Nutzer (z.B. geöffnete Fenster, Dauerbeleuchtung,...). Eine Auffälligkeit bei dieser Begehung war ein starker Rostbefall an einigen Verschraubungen, was den Verdacht aufkommen ließ, dass dies eventuell durch Undichtheit bei der Wärmepumpe und dadurch freigesetztes Kältemittel hervorgerufen werden könnte. Dieser Verdacht bestätigte sich bei weiteren Nachforschungen nicht.

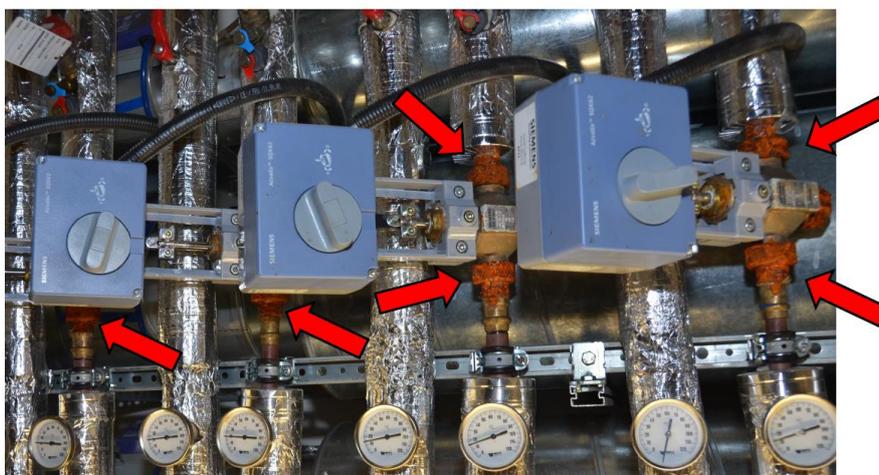
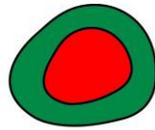


Abbildung 1: Starker Rostbefall an den Verschraubungen der Regeleinrichtungen



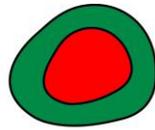
Neben den Vor-Ort-Terminen wurden auch die Daten der Energiebuchhaltung, welche alle Zählerstände im Gebäude in Monatschritten erfasst, mit den Berechnungsergebnissen der Passivhauszertifizierung abgeglichen. Der Wechsel zu den Berechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) war aus zwei Gründen notwendig und unumgänglich: zum einen kann nur durch die sehr detaillierte Eingabe im PHPP ein Gebäude exakt abgebildet werden –dies ist durch die vielen Defaultwerte im Energieausweis gar nicht möglich- und zum anderen wurde das Gemeindezentrum St. Gerold glücklicherweise auch als Passivhaus zertifiziert, so dass eine qualitätsgesicherte und im Vier-Augen-Prinzip kontrollierte Berechnung verfügbar war. Somit konnte ausgeschlossen werden, dass die Berechnung fehlerhaft sein könnte und dadurch gegebenenfalls die Messdaten mit inkorrekten Berechnungswerten verglichen worden wären.

Auch die Auswertungen der Messdaten aus der Energiebuchhaltung sowie deren Vergleich mit der heizgradtagbereinigten PHPP-Berechnung brachten einen hohen Mehrverbrauch zu Tage. Allerdings lag dieser nicht bei 500%, sondern „lediglich“ bei 123%.

Dies war zwar immer noch deutlich zu hoch, relativierte aber die Diskrepanzen zwischen Messung und Berechnung deutlich. Die weitere Ursachenforschung brachte einige Anhaltspunkte hervor, an welchen Stellen die Gründe für den Mehrverbrauch liegen könnten. Ziemlich schnell erhärtete sich der „Anfangsverdacht“, dass es vermutlich an der installierten Gebäudetechnik bzw. deren Einstellungen, nicht aber an den Nutzern liegen muss.



**Abbildung 2: Überblick Haustechnikraum (links: Kälteaggregate; Mitte: Pufferspeicher; rechts: Wärmepumpe (rot))**



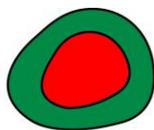
Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde Anfang 2012 von der Gemeinde eine Abstimmungssitzung mit den relevanten Planungs- und Ausführungsbeteiligten zusammen mit dem Energieinstitut einberufen. Hierbei wurden die kritischen Punkte angesprochen und analysiert. Dabei wurden die folgenden Ursachen eingegrenzt und Anpassungen beschlossen:

- 1) Die Soll-Vorlauftemperatur der Wärmepumpe war deutlich zu hoch eingestellt. Der Grund hierfür konnte nicht abschließend eruiert werden. Die Soll-Vorlauftemperatur wurde von ursprünglich eingestellten 55°C auf die Auslegungstemperatur von 37°C abgesenkt. Somit steigt auch die Effizienz der Wärmepumpe. Außerdem wurden die Betriebszeiten korrigiert.
- 2) Der Luftvolumenstrom war mit 4500 m<sup>3</sup>/h ebenfalls deutlich zu hoch eingestellt. Dieser wurde auf 2500-3000 m<sup>3</sup>/h reduziert. Auch hier konnte der Grund der hohen Einstellung nicht geklärt werden.
- 3) Die Bewegungsmelder in den Gang- und Stiegenhausbereichen wurden auf die tatsächlich erforderlichen Helligkeitswerte eingestellt.



**Abbildung 3: Zentrale Lüftungsanlage**

Zur genaueren Untersuchung der Probleme und deren Ursachen wurde außerdem vereinbart, über mehrere Wochen sehr detaillierte und zeitlich hoch aufgelöste Messungen durchzuführen.



Hierzu wurden von Februar – Juli 2012 fünf drei-phasige Stromzähler mit Datenloggerfunktion des Energieinstituts installiert, mit denen es möglich war, in einem Zeitabstand von nur einer Minute die Leistungsaufnahmen zu messen und aufzuzeichnen.

Die folgenden fünf Bereiche wurden mit den Stromzählern ausgestattet und analysiert:

- Summenverbrauch Heizung – Lüftung – Klima (ohne Wärmepumpe und ohne E-Patrone)
- Wärmepumpe
- Bereich Spielgruppe
- E-Patrone
- Bereich Verwaltungsebene

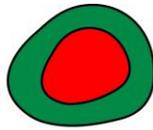


**Abbildung 4: Empfangseinheiten der zeitlich hochaufgelösten dreiphasigen Stromzähler**

Parallel zu den hochgenauen und automatisierten Messungen lief auch die monatliche Erfassung der Zählerstände im Rahmen der Energiebuchhaltung weiter.

Die detaillierten Messungen fanden nach den eingangs genannten Optimierungen statt. Die Datenerfassungen der Energiebuchhaltung davor, während und nach den Anpassungen.

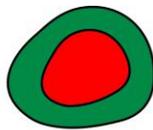
Auf der nachfolgenden Seite finden sich zwei Fotos der eingebauten und angeschlossenen Messtechnik. Einmal eingebaut im Hauptzählerschrank für die Erfassung der Bereiche Verwaltung und Spielgruppe sowie für die Wärmepumpe und die restliche Haustechnik sowie eine zusätzliche Messstelle direkt an der Elektro-Heizpatrone im Pufferspeicher.



**Abbildung 5: Zähleraufbau (oben: Ringkernsensoren zur Erfassung der Stromstärke; unten: Funktransmitter für Datenübertragung an Empfangseinheiten)**



**Abbildung 6: Messungen an der Elektro-Heiz-Patrone**



## Analyse

Die detaillierten Messungen im Winter / Frühjahr / Sommer 2012 brachten die folgende Verteilung der Energieverbräuche zum Vorschein:

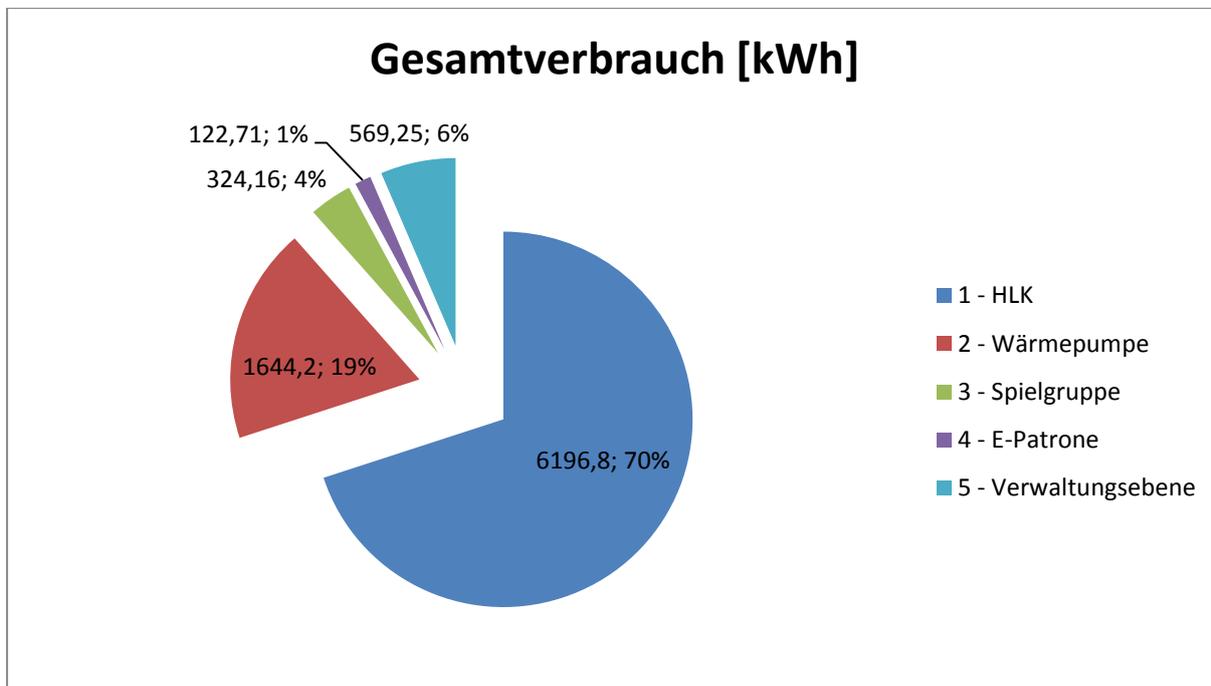


Abbildung 7: Darstellung des gesamten Verbrauchs während der Messperiode (24.2.-3.7.2012)

Deutlich zu erkennen ist, dass während des Messzyklus der größte Energieverbrauch mit 70% im Bereich Heizung, Lüftung und Klima stattfand. Als zweitwichtigster Verbraucher folgt hier die Wärmepumpe mit einem Anteil 19% am Gesamtenergieverbrauch. Somit wurde in der weiteren Auswertung der Schwerpunkt vor allem auf diese beiden Verbraucher gelegt. Verteilt auf die einzelnen Monate ergab sich die folgende Auswertung:

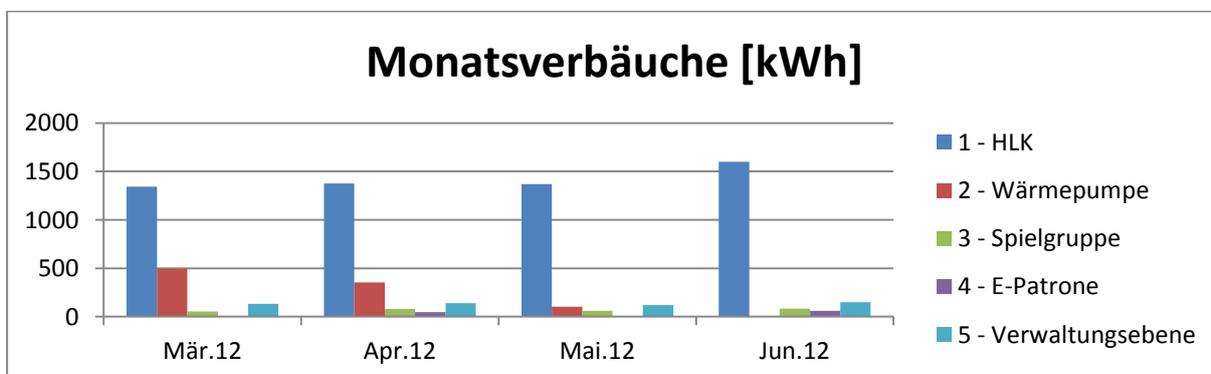
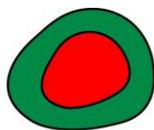


Abbildung 8: Aufteilung der differenzierten Verbräuche nach Monaten während der Messperiode

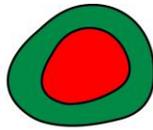


In der monatlichen Auswertung ist gut zu sehen, dass der Energieverbrauch der Wärmepumpe mit wärmeren Außentemperaturen erwartungsgemäß zurückgeht. Interessanterweise stieg aber auch der Energieverbrauch der Haustechnik. Abschließend konnte die Ursache hierfür nicht ermittelt werden; es kann aber mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass dies mit dem steigenden Kühlbedarf der Kühlmöbel im ebenfalls im Gebäude situierten „Dorfladen“ zusammenhängt, da die Kühlaggregate (siehe Bild) hierzu ebenfalls auf dem Zähler der Haustechnik laufen.



**Abbildung 9: Zwei Kältemaschinen für Versorgung der Kühlmöbel (oben: Tiefkühlung; unten: Pluskühlung)**

Sowohl bei der Datenauswertung der Energiebuchhaltung als auch bei den detaillierten Messungen wurden die Energiebedarfsdaten des PHPP mittels der gemessenen Heizgradtage des am nächsten gelegenen und vergleichbarsten Standorts, Wald am Arlberg, korrigiert.



Zu Vergleichszwecken wurde für die PHPP-Berechnung auch noch eine Variante mit einer höheren Innenraumtemperatur (22°C) gerechnet.

Für den Messzeitraum der Jahre 2010-2012 ergibt sich klimabereinigt der folgende monatliche Vergleich zwischen den Messungen in der Energiebuchhaltung sowie den Berechnungen in PHPP. Nachfolgend zuerst dargestellt sind die unterschiedlichen Heizgradtage zwischen PHPP und dem tatsächlichem Klima.

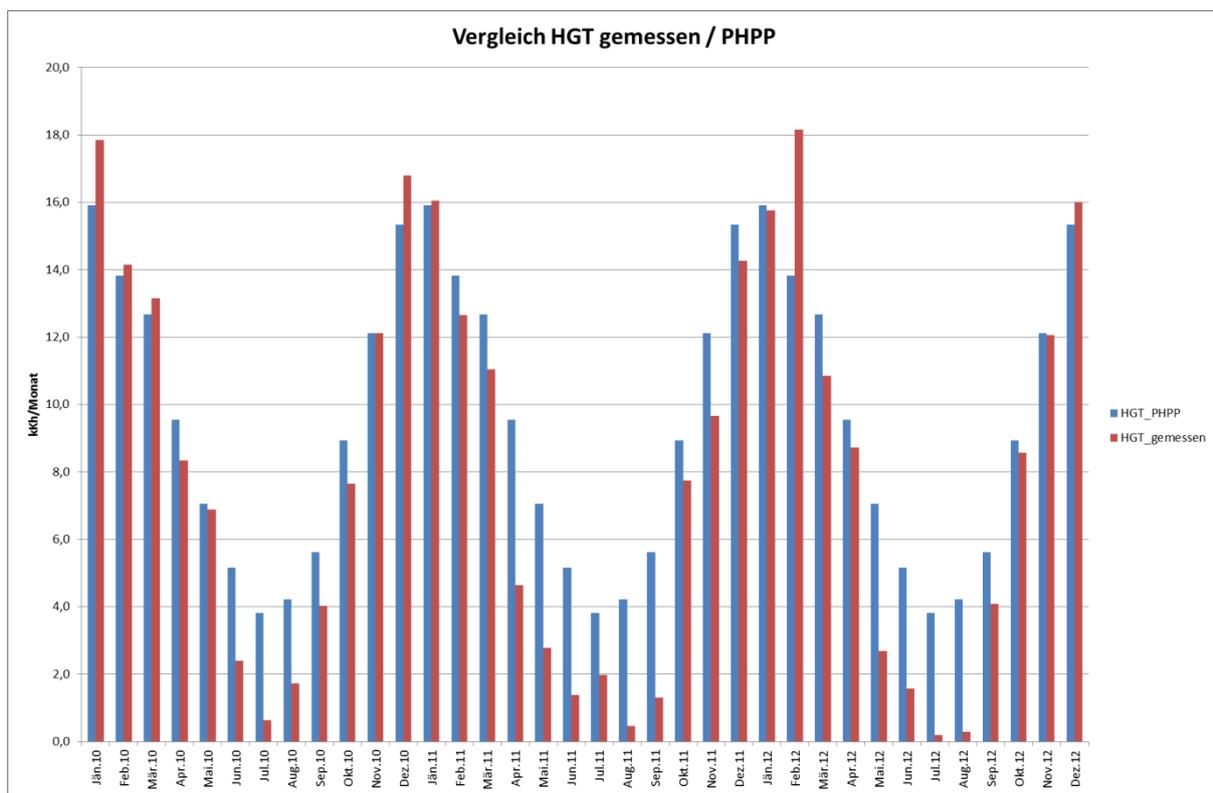


Abbildung 10: Gegenüberstellung der Heizgradtage (HGT) der Messung (rot) zu den Werten in der Berechnung (blau)

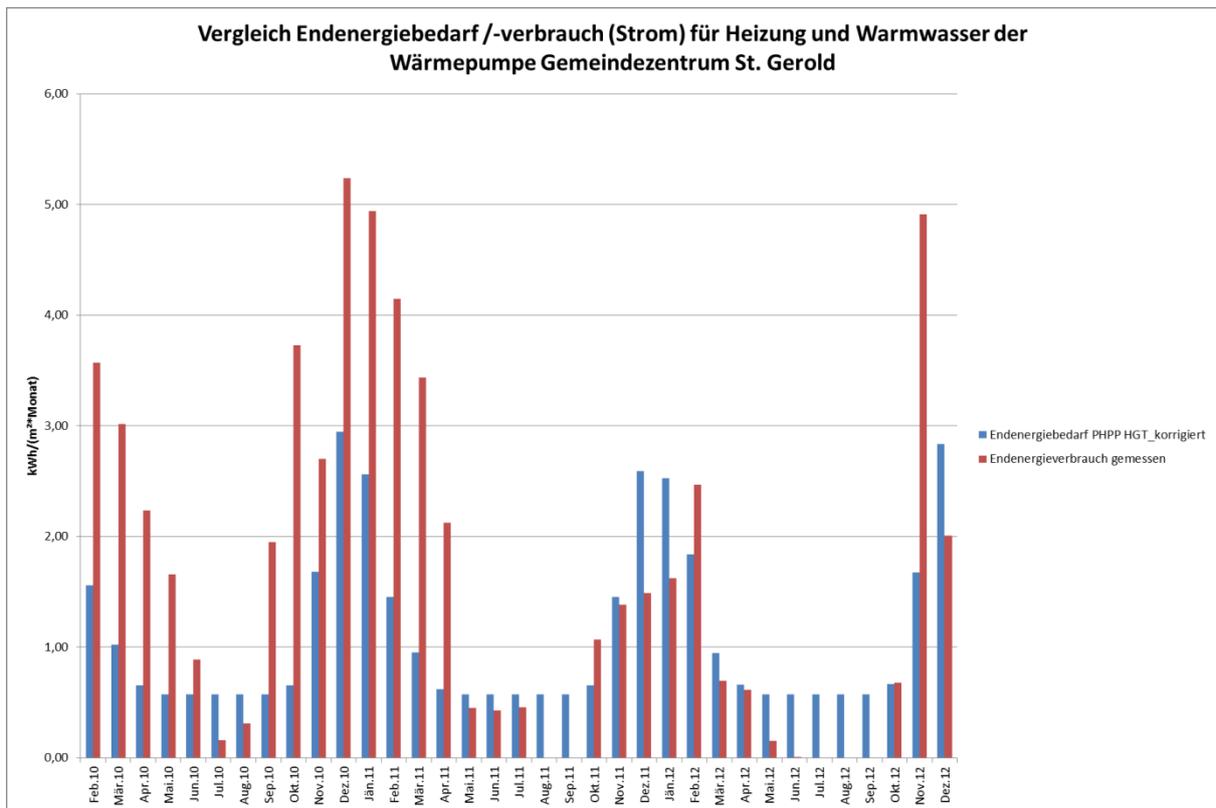
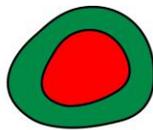


Abbildung 11: Monatliche Gegenüberstellung der gerechneten, klimakorrigierten Endenergiebedarfe (blau) zu den tatsächlich gemessenen Endenergieverbräuchen (rot) für die Wärmepumpe

In der vorhergehenden Darstellung ist schön zusehen, dass die Verbräuche vor der Anpassung der Parameter bei der Haustechnik in der Regel deutlich über den berechneten Werten liegen. Nach der Anpassung (Februar 2012) liegen die Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser zusammen unterhalb der Berechnungen.

Leichter zu sehen ist dies bei Betrachtung der Jahressummenwerte im nachfolgenden Diagramm.

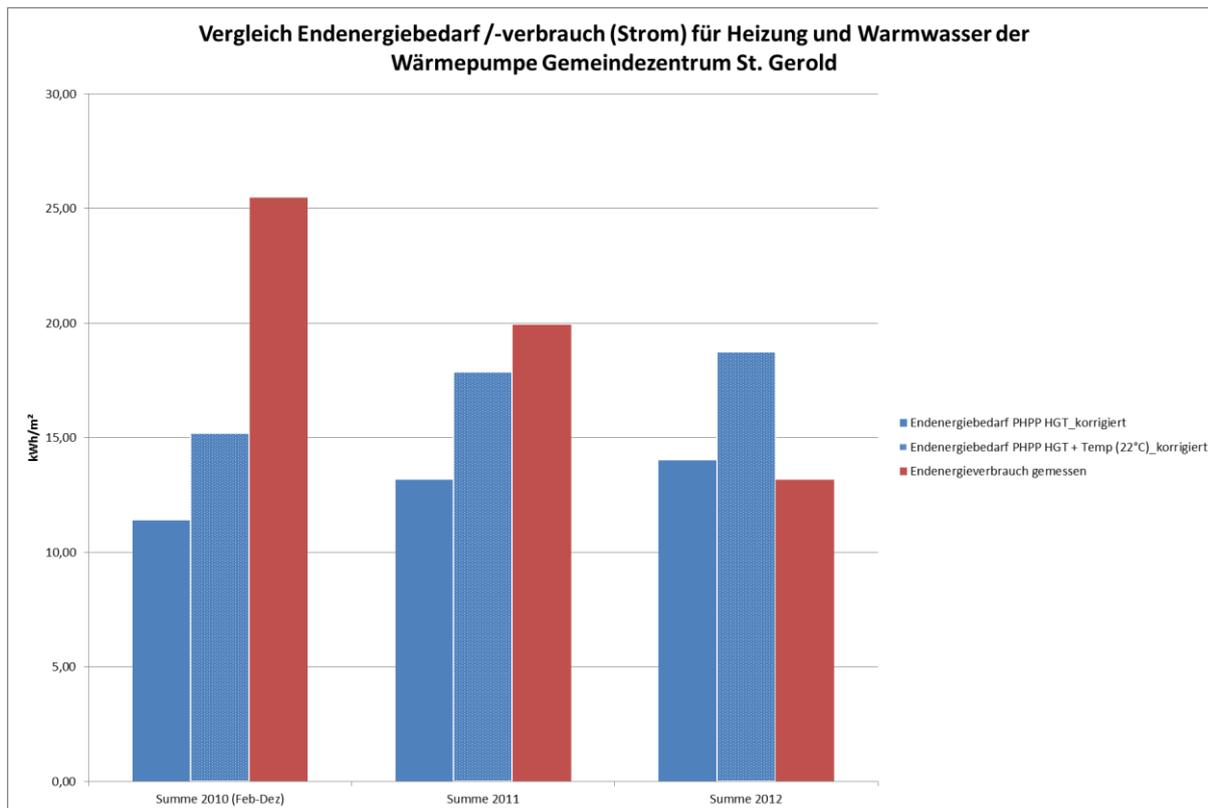
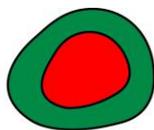
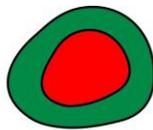


Abbildung 12: Kumulierter Verbrauch / Bedarf an Endenergie für Wärmepumpe (rot: Messung; blau: Berechnung mit 20°C Raumtemperatur; blau-weiß gepunktet (mittlerer Balken): Berechnung mit 22°C Raumtemperatur)

Hier sieht man auf den ersten Blick, dass die gemessenen Jahresverbräuche für die Jahre 2010 (+123%) sowie 2011 (+51%) sehr deutlich bzw. deutlich über den klimakorrigierten Berechnungen liegen. Ebenso sieht man aber auch, dass die Maßnahmen Anfang 2012 gegriffen haben, da nun der gemessene Verbrauch unter den errechneten Bedarfen liegt (-6%). Somit wurde eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Berechnung (PHPP) und Messung erreicht. Geht man nun davon aus, dass nicht nur das Klima von den theoretisch angenommen Werten abweicht, sondern auch die Innentemperatur merkbar höher als für die Berechnung angenommen ist, dann ergibt sich für eine theoretische Innentemperatur von 22°C der rechnerische Verbrauch, wie er in den blau-weiß-gepunkteten Balken dargestellt ist.

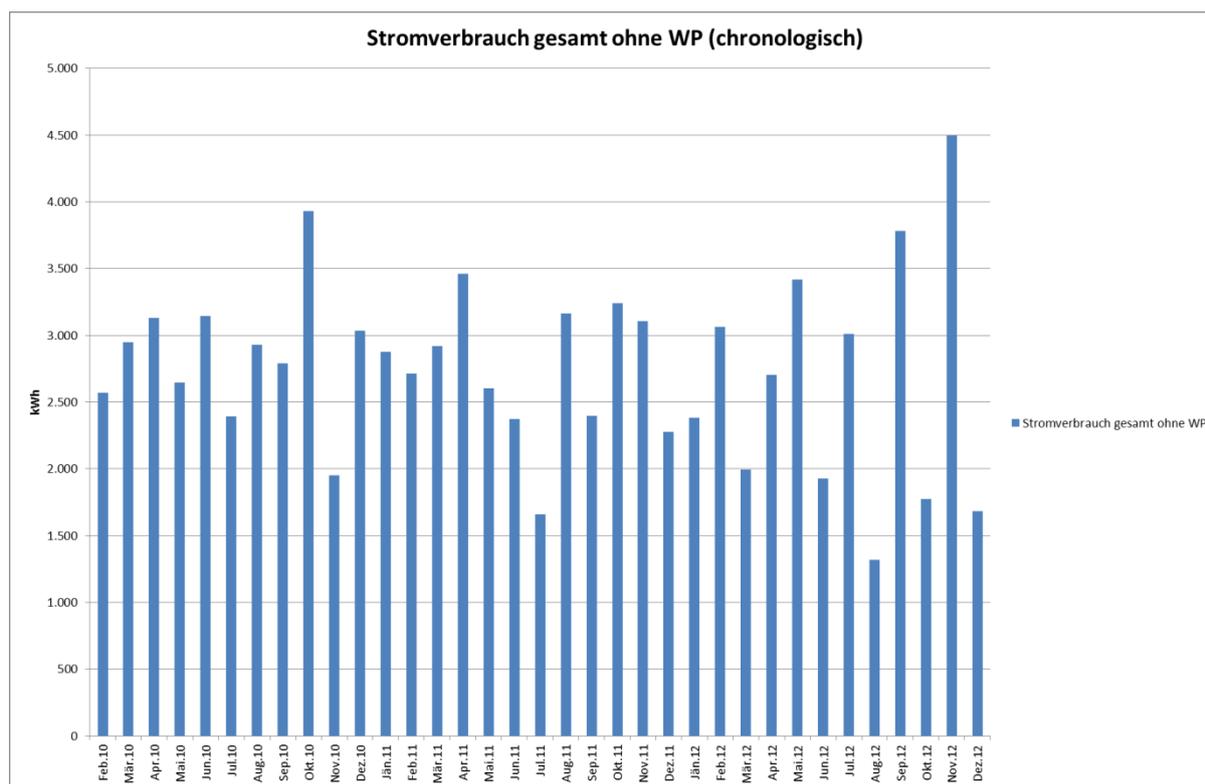
Nimmt man dies als Ausgangsbasis, dann wäre der Mehrverbrauch in 2010 bei +68% gelegen, in 2011 wäre er nur noch bei ca. +12% gelegen und 2012 hätte sich ein Minderverbrauch von satten -30% realisieren lassen.



Somit kann erfreulicherweise bestätigt werden, dass das zertifizierte Passivhaus „Gemeindezentrum St. Gerold“ die sehr guten rechnerischen Werte nach der Optimierung nun einhält und sogar unterschreitet. Für die kommenden Jahre gilt es zu beobachten, ob das Gebäude stabil bei den Verbrauchswerten bleibt oder ob ein Nachjustieren bei den Parametern der Haustechnik von Nöten ist.

Da mehr als 2/3 des gesamten Energieverbrauchs des Gemeindezentrums für den Betrieb der restlichen Gebäudetechnik (Heizung, Lüftung, Klima) benötigt wird, war gerade auch dieser Bereich interessant.

In der Energiebuchhaltung wird dieser Bereich über den Gesamtstromzähler erfasst, so dass die Spielgruppe als auch der Verwaltungsbereich hierin enthalten sind.



**Abbildung 13: Monatliche Darstellung des Stromverbrauchs für das restliche Gebäude (ohne Wärmepumpe)**

In der vorangegangenen Graphik sieht man deutlich wie die Verbräuche über die Jahresverläufe schwanken und sich zwischen ca. 1.300 kWh/Monat und 4.500 kWh/Monat bewegen. Dies sieht man auch gut in der nach Monaten sortierten Darstellung.

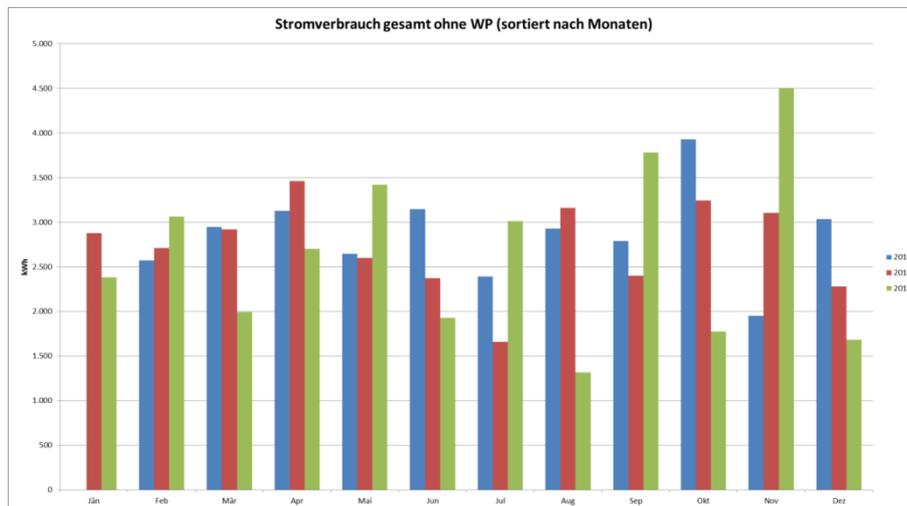
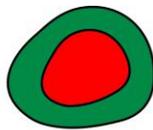


Abbildung 14: Monatliche Darstellung des Stromverbrauchs für das restliche Gebäude (ohne Wärmepumpe) - gruppiert nach Monaten und Jahr

Summiert man die Monatsverbräuche wieder zu Jahresverbräuchen auf, so sieht man dass es auch hier gelungen ist, den Stromverbrauch analog zu den Verbräuchen bei der Wärmepumpe zu senken.

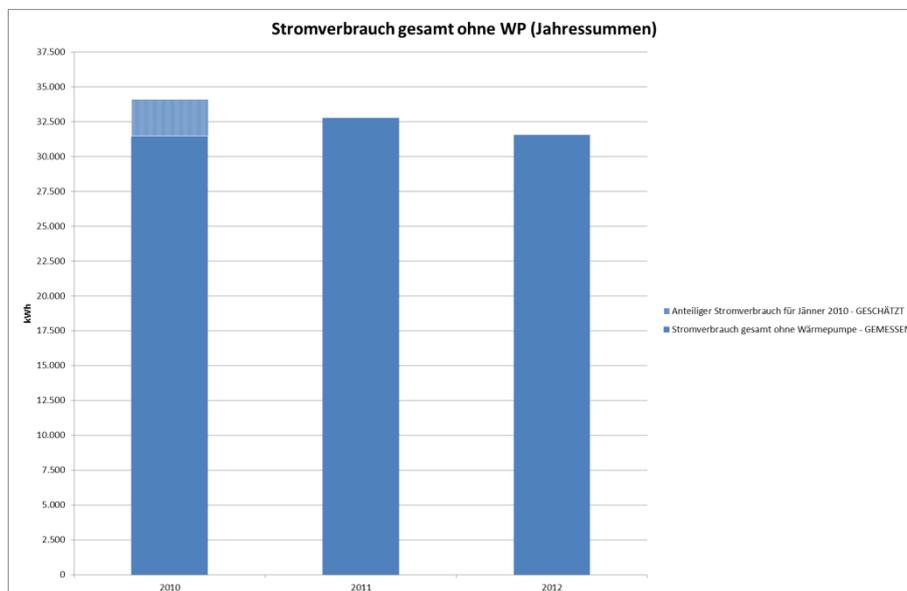
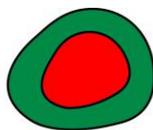


Abbildung 15: Kumulierter Stromverbrauch gesamt ohne Wärmepumpe

Der blau-weiß gepunktete Bereich im Balken des Jahres 2010 gibt einen aus den Folgejahren hochgerechneten Energieverbrauch für den Jänner 2010 wieder, da für diesen Monat leider keine Messdaten zur Verfügung standen.



## Detailanalysen Haustechnik

Neben der gesamthaften Betrachtung der Energieverbräuche des Gemeindezentrums, die - wie oben beschrieben- nach den Optimierungen unterhalb den errechneten Werten liegen, ist es auch interessant, die detaillierten Messdaten auszuwerten und gewisse Grundaussagen hieraus abzuleiten.

Generell wurden die Messungen im Jahr 2012 durchgeführt und jeweils eine Winterperiode sowie eine Sommer Periode erfasst. Auf Grund der hochauflösenden Zeitschritte von einer Minute sowie den fünf verwendeten Mess-Daten-Logger, kamen über 265.000 erfasste Leistungsaufnahmen zusammen, die ausgewertet wurden.

### Messung Heizung (Hilfsstrom ohne WP) – Lüftung - Klima

Bei der Auswertung dieser Messungen sticht ins Auge, dass für den Hilfsstrom für die Heizung, die Lüftungsanlage sowie die verwendete Klimatechnik im Winter sowie im Sommer zwischen 1,5 kW und 6 kW elektrische Leistung aufgenommen wird. Auffällig ist hierbei, dass es eine Sockelleistungsaufnahme über das gesamte Jahr hinweg von im Mittel ca. 2 kW gibt. Die Grundlast liegt über 24 Stunden bei ca. 1500-1700 Watt und fällt nie darunter ab.

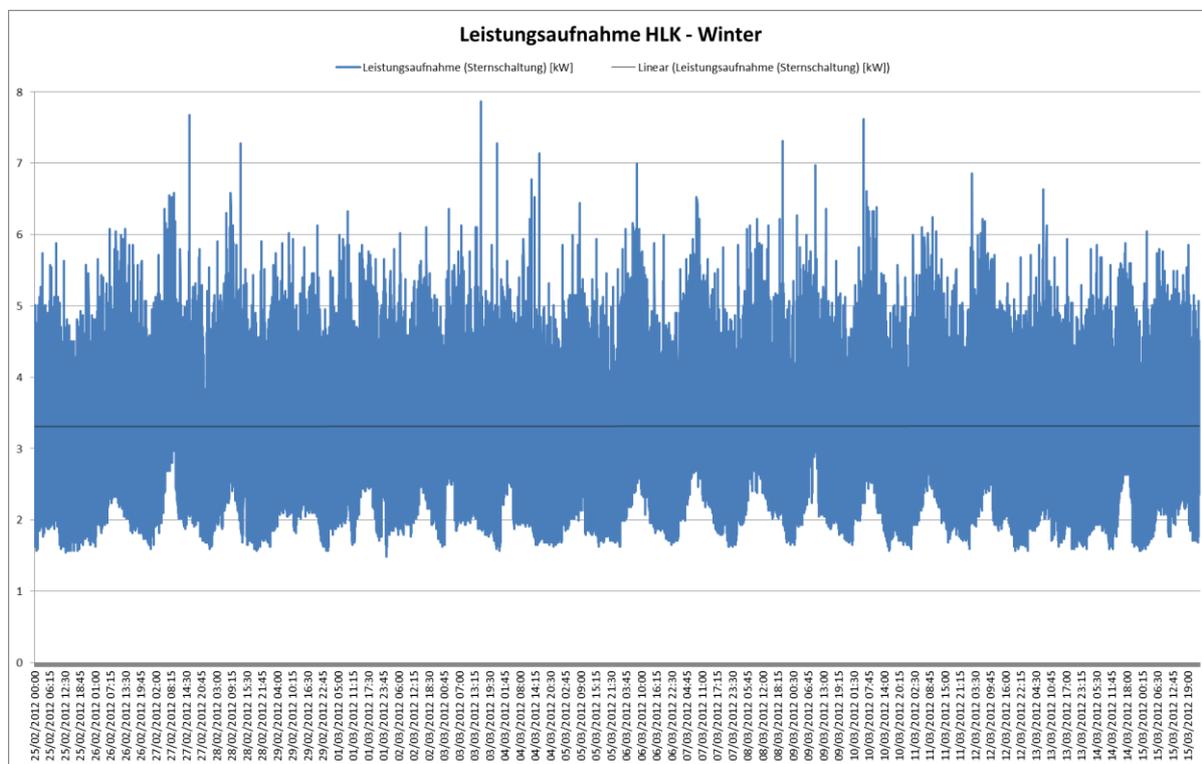


Abbildung 16: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Winterperiode)

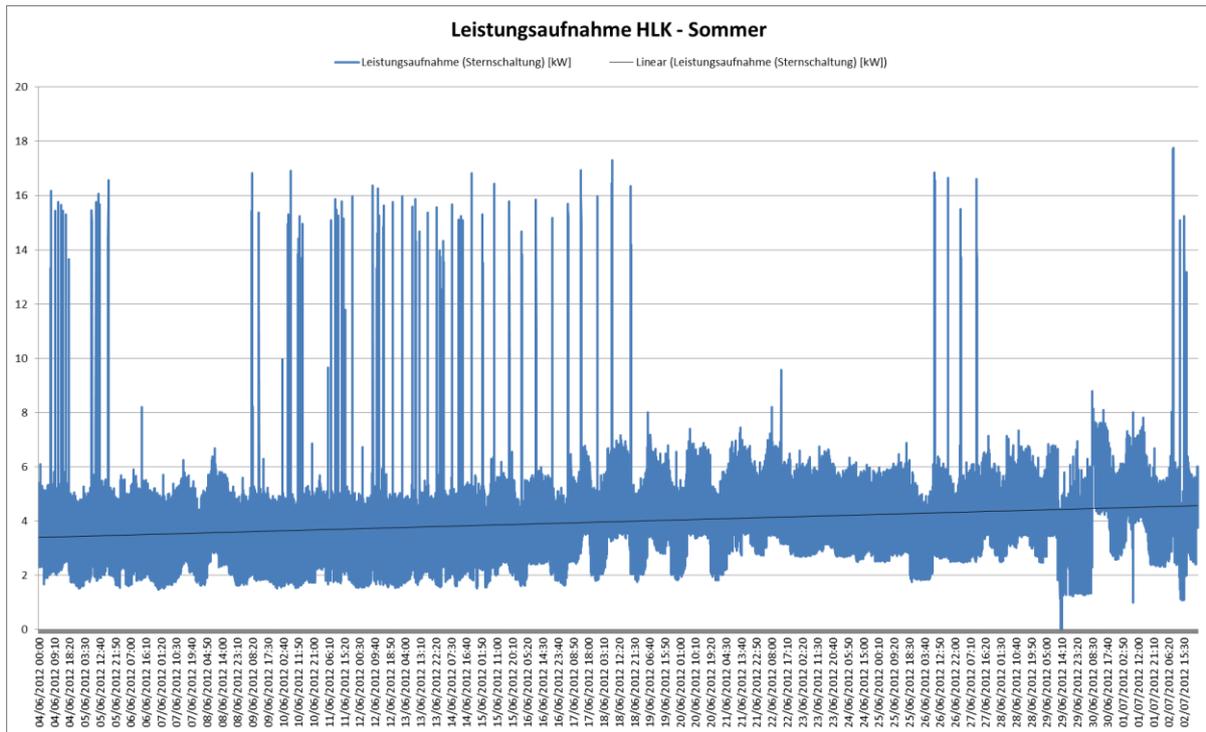
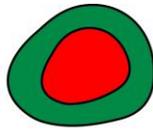


Abbildung 17: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Sommerperiode)

Hier gibt es dahingehend Optimierungspotential als dass selbst kleinste Einsparungen relevant werden.

So könnte durch eine Einsparung von „nur“ 50-100 Watt im Bereich HLK (dies entspricht ca. 3-6 % der Grundlast des Bereichs HLK) 438 – 876 kWh eingespart werden. Dies könnte beispielsweise durch ein mögliches Umrüsten der Fluchtwegbeleuchtung auf LED erreicht werden. Außerdem könnte die Lüftungsanlage nachts ggf. ausgeschaltet werden (z.B. von 0-6 Uhr), da im Gebäude auf Grund der ökologischen Bauweise keine großen Einträge an Schadstoffen und auf Grund der Nutzung auch keine großen Einträge an Feuchtelasten zu erwarten sind. Des Weiteren wird empfohlen –falls betriebstechnisch möglich und noch nicht geschehen-, den Server über Nacht in einen Standby-Modus zu setzen (nur möglich falls nachts keine Updates, Sicherungen oder sonstige Synchronisationen laufen).

Deutlich wird dieses Einsparpotential vor allem bei einem Blick auf die nächste Auswertung.

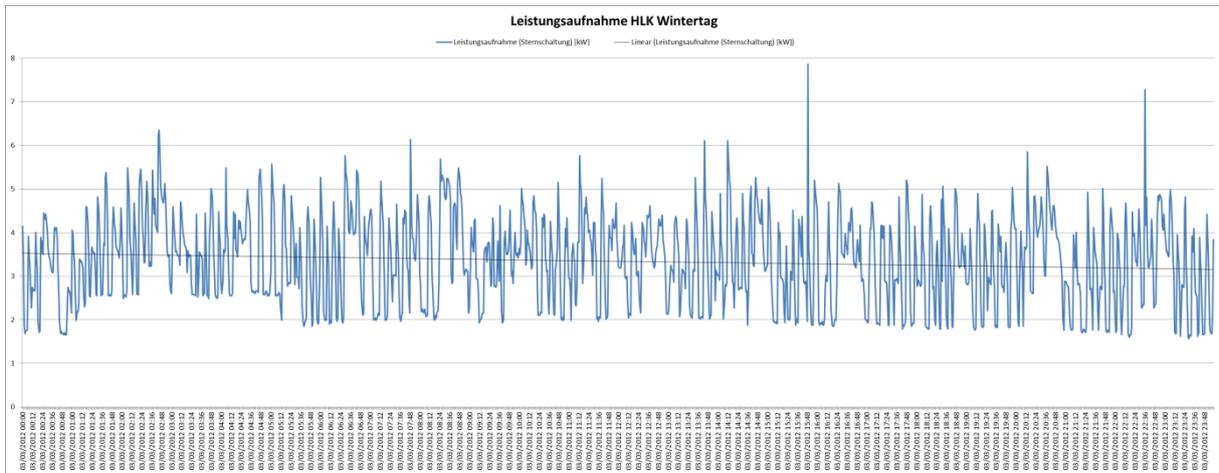
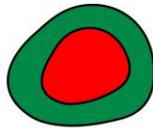


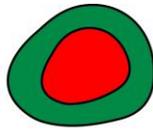
Abbildung 18: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Winterperiode – Tagesauflösung)

An dem Beispiel eines zufällig gewählten Wintertags sieht man, dass zum einen die Leistungsaufnahme über den gesamten Tag deutlich schwankt, sich aber das Schwankungsband nahezu unverändert über den ganzen Tag erstreckt. Nur bei sehr genauem Hinsehen erkennt man, dass in den Abend- und Nachtstunden die Grundlast leicht abnimmt (von ca. 2 kW am Tag auf dann ca. 1,6 kW in der Nacht). Dennoch können hier noch weitere Einsparpotentiale vermutet werden.



Abbildung 19: Leistungsaufnahme Heizung – Lüftung – Klima (Winterperiode – Stundenauflösung)

Die Ursache für die starken Schwankungen der Leistungsaufnahme erkennt man, wenn man aus dem gezeigten Beispieltag eine Stunde (in diesem Fall am 6.3.2012 von 15-16 Uhr) heraus greift und genauer analysiert. Hier fällt auf, dass es ca. alle 10 Minuten zu Spitzen in der Leistungsaufnahme kommt. Diese lassen sich durch die beiden Kältemaschinen



erklären, die im Haustechnikraum angeordnet sind und die Kühlmöbel im Dorfladen mit Kälte versorgen. Zu eruieren wäre hier, ob eine Anpassung der Hysterese aus Sicht der Lebensmittelhygiene sowie der Haltbarkeit der Produkte möglich wäre. Durch Vergrößerung des Abstandes zwischen Ein- und Ausschaltzeitpunkt der Kältemaschine käme es auf der einen Seite zwar zu einer größeren Schwankung der Kühltemperatur in den Kühlmöbeln (wobei auf Grund der Speichermaßen der Möbel an sich sowie der darin befindlichen Lebensmittel die Schwankung sehr moderat ansteigen würde). Auf der anderen Seite ließe sich damit die Laufzeit der Kältemaschinen erhöhen, so dass sie weniger Takten würden. Dies wirkt sich in einer längeren Lebensdauer sowie einem geringerm Energieverbrauch aus.

## Messung Wärmepumpe

Die Detailmessungen bei der Wärmepumpe ergaben, dass die Wärmepumpe während den Messungen in den Sommermonaten nur ein einziges Mal angesprungen ist. Dies entspricht dem gewünschten Sollverhalten.

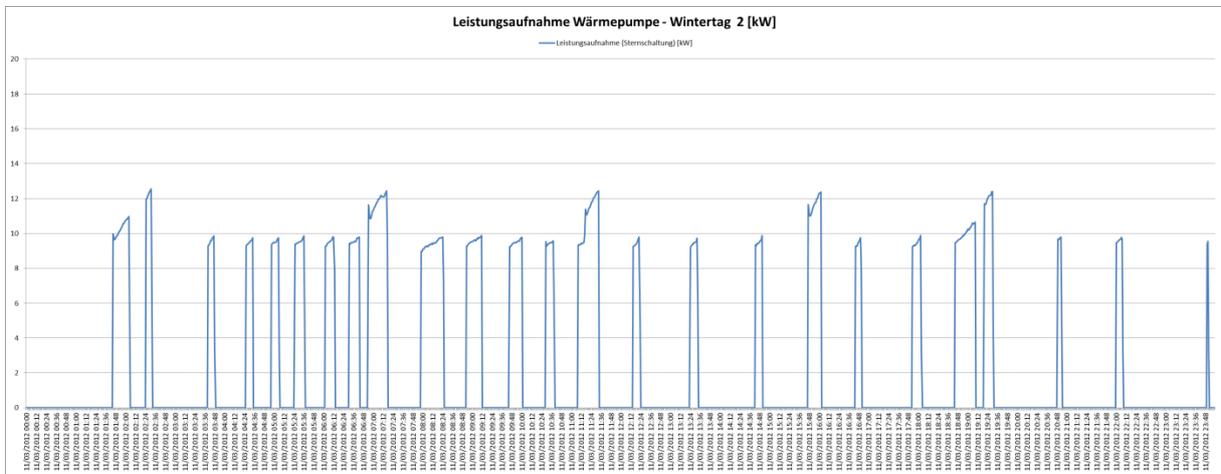
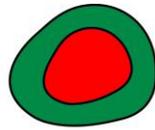


Abbildung 20: Leistungsaufnahme der Wärmepumpe an einem Wintertag

Im Winter zeigt sich das vorangegangene Bild. Die Wärmepumpe hat eine Leistungsaufnahme von ca. 9-10 kW und taktet an dem dargestellten Beispieltag, aber auch an den anderen Wintertagen, ca. 25-mal, wobei die Laufzeit zwischen ca. 5 und 15 Minuten beträgt. Neben der Häufigkeit fällt auch auf, dass die Wärmepumpe am Nachmittag deutlich weniger und in größeren Abständen in Betrieb geht, was sich auf Grund der Gebäudeausrichtung sowie der damit verbundenen solaren Gewinnen erklären lässt.



Das „Taktprofil“ zeigt deutlich zwei Umstände in der Gebäudetechnik auf, die bei zukünftigen Umbau- oder Ersatzmaßnahmen in der Technik berücksichtigt werden sollten (eine zu hohe Taktfrequenz geht zu Lasten der Effizienz, aber vor allem auch zu Lasten der Lebensdauer der Wärmepumpe). Die beiden Ursachen sind: entweder ist die Wärmepumpe zu leistungsstark, sodass das Gebäude bzw. der Pufferspeicher die Energiemenge nicht aufnehmen oder verteilen kann oder der Speicher ist etwas zu klein dimensioniert.

Abhilfe könnte in Zukunft eine modulierende Wärmepumpe schaffen, die auch auf kleineren Leistungsstufen arbeiten könnte und somit längere Betriebszeiten hätte oder ein größerer Pufferspeicher. Da dies aber Maßnahmen sind, die die nächsten Jahren aus ökonomischen und ökologischen Erwägungen nicht in Frage kommen werden, sollte versucht werden, durch eine Adaption der Hysterese sowie der Einschalt- und Ausschalttemperaturen, die Laufdauer der Wärmepumpe pro Takt zu erhöhen und zeitgleich die Anzahl der Takte zu reduzieren. Diese Maßnahme erhöht zwar etwas die Schwankungsbreite der Vorlauftemperaturen, aber da ein Passivhaus eine hohe thermische Zeitkonstante hat, fallen diese Änderungen –solange sie nicht zu groß ausfallen- nicht ins Gewicht und werden vom Nutzer nicht wahrgenommen.

## Messung Spielgruppe

Die Analyse der Leistungsaufnahmen bei der Spielgruppe ergab grundsätzlich ein nahezu idealtypisches Bild. Wechselnde Leistungsaufnahmen über den Tag mit einer maximalen mittleren Leistungsaufnahme von etwa 1,3 kW.

Für die Wintermessungen ergab sich ein sehr klarer Verlauf mit deutlich sichtbaren Wochenenden.

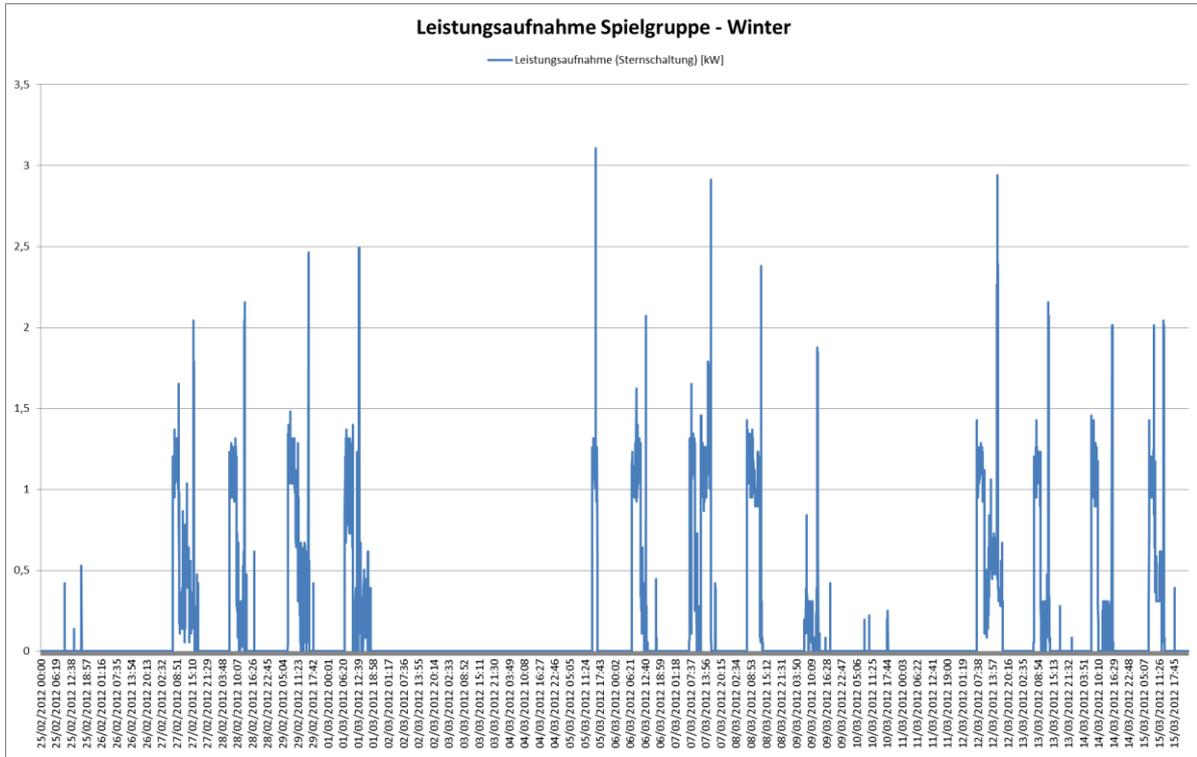
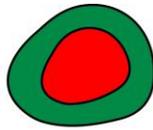


Abbildung 21: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Winter (mehrere Tage)

Sehr erfreulich ist, dass –zumindest war dies so während der Messperiode– keine messbaren Energieverbräuche an den Wochenenden (siehe oben) auftraten.

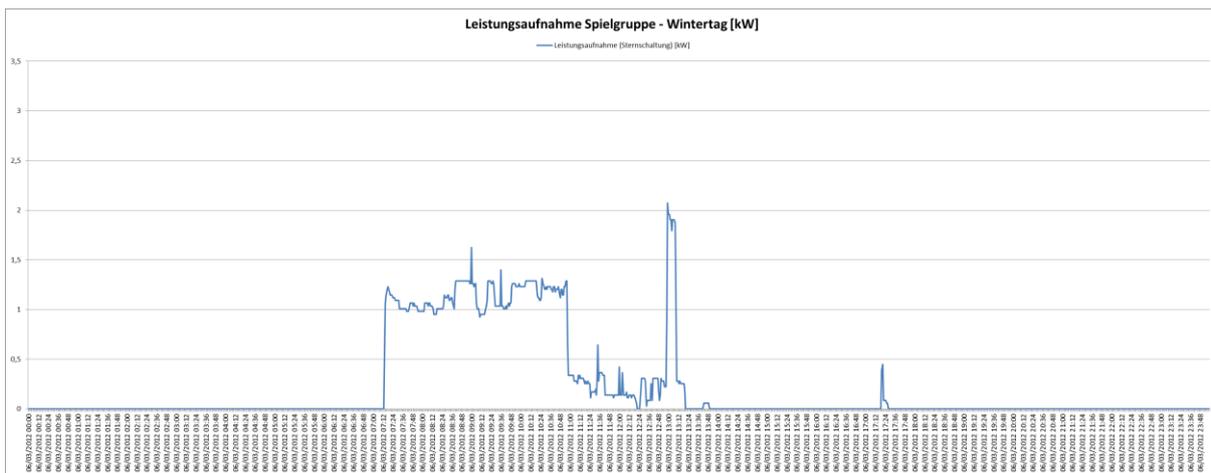
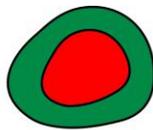


Abbildung 22: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Winter (ein Tage)

In den detaillierten Betrachtungen eines Tagesverlaufs lässt sich sehr schön erkennen, dass es auch während den Nachtstunden keinen Energieverbrauch in der Spielgruppe gab. Während den Betriebsstunden wurden elektrische Geräte sowie die Beleuchtung dem



tatsächlichen Bedarf konsequent angepasst (siehe Leistungsaufnahme am späteren Vormittag). Die Leistungsspitze am Mittag rührt von der Benutzung des Herds her.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich auch während den Sommermonaten. Allerdings sind hier zwei Auffälligkeiten, die sich nicht erklären lassen.

Zum einen finden sich hier Energieverbräuche auch während den Wochenenden, die weder von Standby-Verbrauchern herrühren können (da sie nicht konstant oder während der Nacht vorhanden sind), aber zu klein sind, um durch tatsächliche Nutzung verursacht worden zu sein.

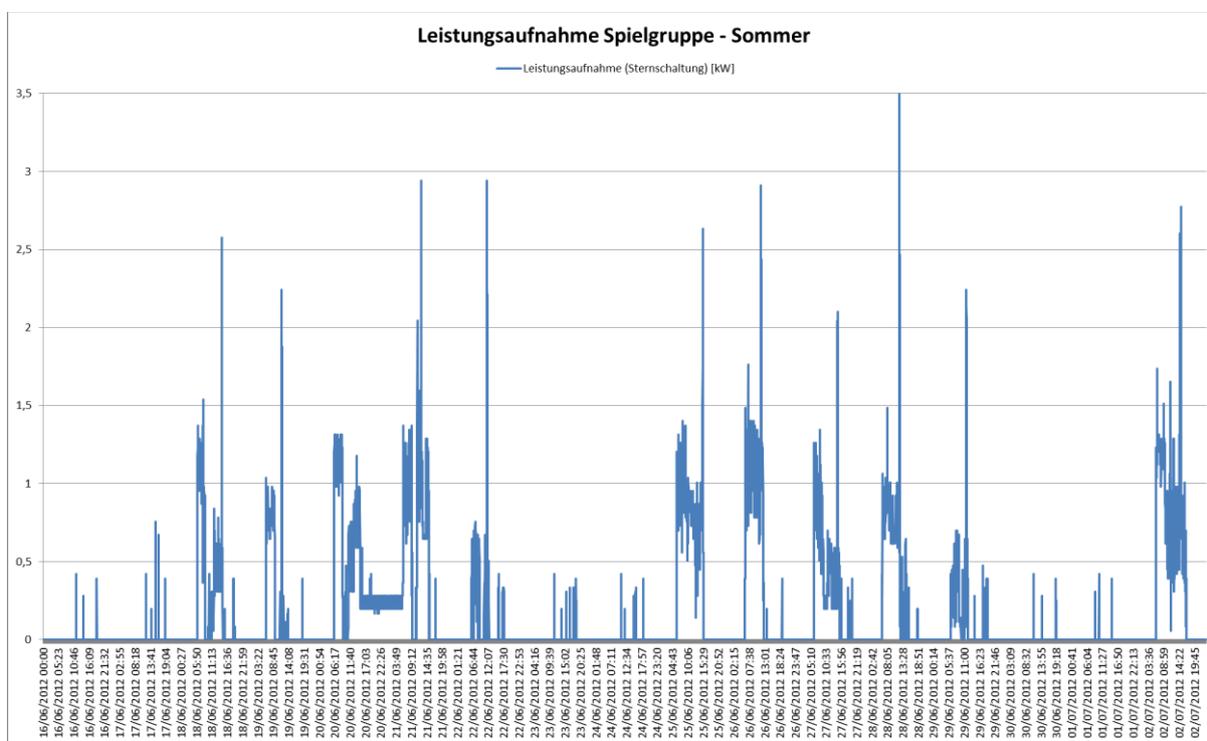


Abbildung 23: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Sommer (mehrere Tage)

Auch eine Detailauswertung eines gesamten Wochenendes (siehe unten) ergab keine weiteren Erkenntnisse.

Es handelt sich hier zwar um einen vernachlässigbaren Energieverbrauch, aber dennoch ist es interessant, dass mehrmals täglich ca. 300 Watt für wenige Minuten benötigt werden. Dies würde prinzipiell auf einen Untertischboiler hindeuten, allerdings würde man dann auch nachts ein Taktverhalten erwarten und auch die Leistungsaufnahme wäre höher.

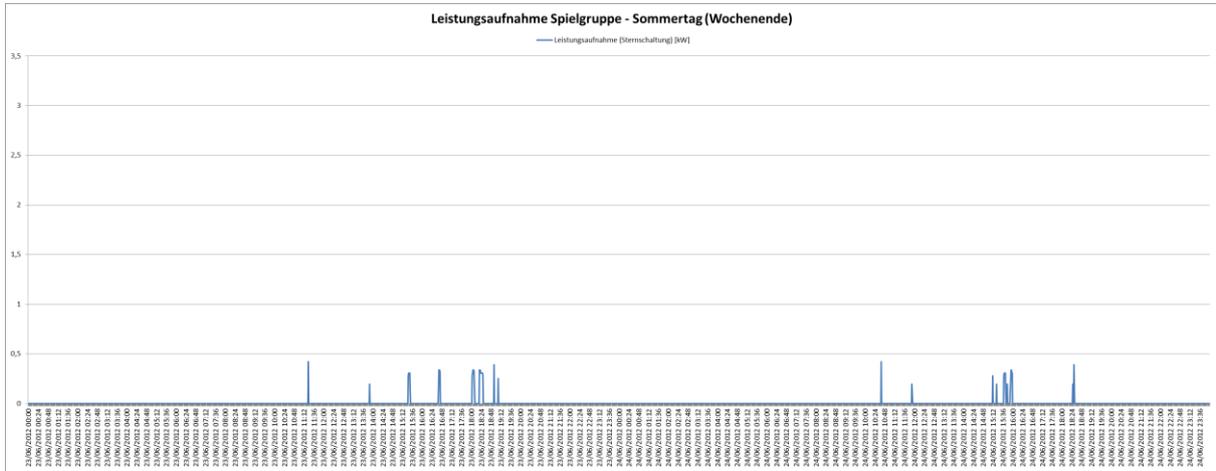
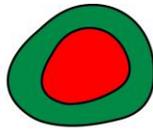


Abbildung 24: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Sommer (komplettes Wochenende)

Die zweite Auffälligkeit ist, dass es im Tagesverlauf im Sommer zwar ebenfalls eine spürbare Reduktion der Leistungsaufnahme am späten Vormittag gibt, diese aber nicht so deutlich ausgeprägt ist, wie dies im Winter der Fall ist.

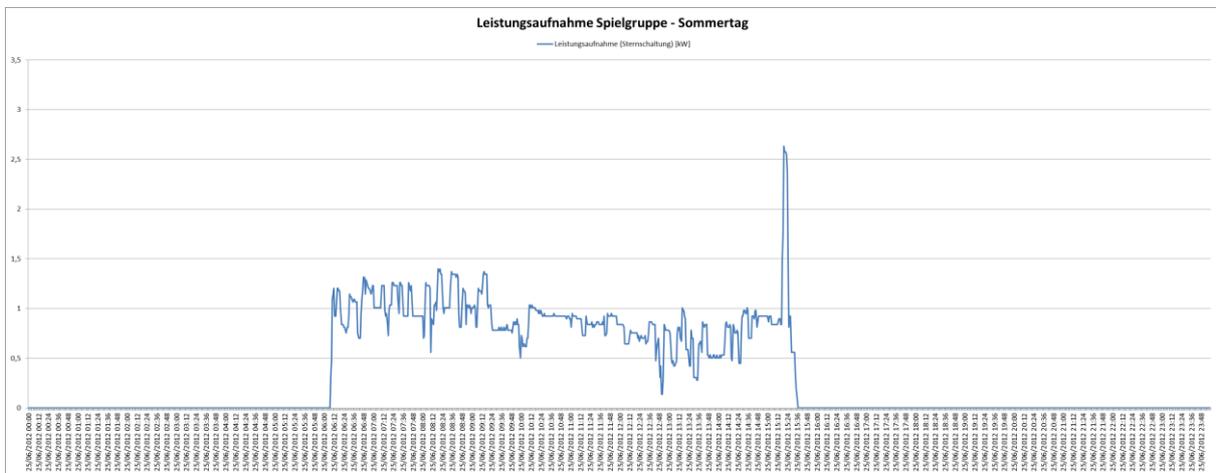
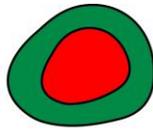


Abbildung 25: Leistungsaufnahme der Spielgruppe im Sommer (ein Tag)



## Messung E-Patrone

Die Analyse der E-Patrone ergab, dass diese während des gesamten detaillierten Messzyklus im Winter nur ein einziges Mal für 15 Minuten in Betrieb ging.

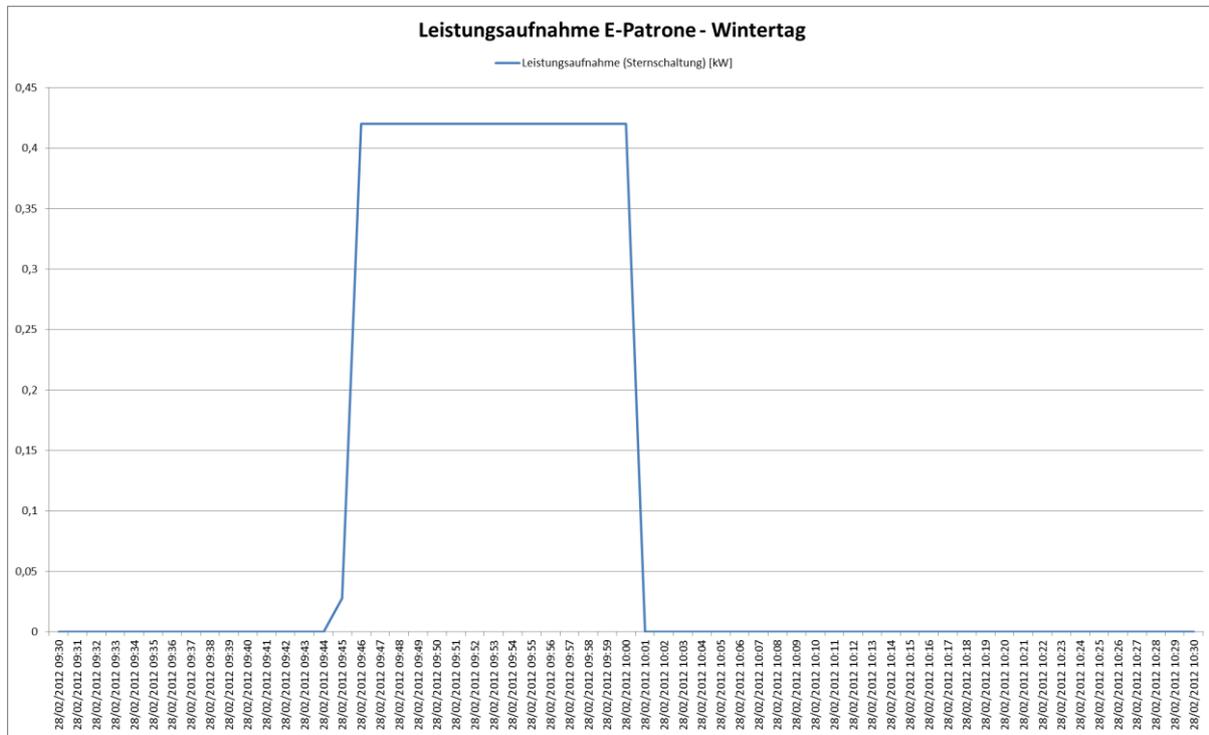


Abbildung 26: Leistungsaufnahme der Heizpatrone im Winter (ein Stunde)

Während der Messungen im Sommerzeitraum sprang die E-Patrone ebenfalls nur an einem einzigen Tag an, an diesem allerdings mehrere Male (sechs Mal) und mit deutlicher höherer Leistung als im Winter. Der Ursache hierfür konnte nicht abschließend herausgefunden werden. Energetisch ist der Verbrauch aber irrelevant.

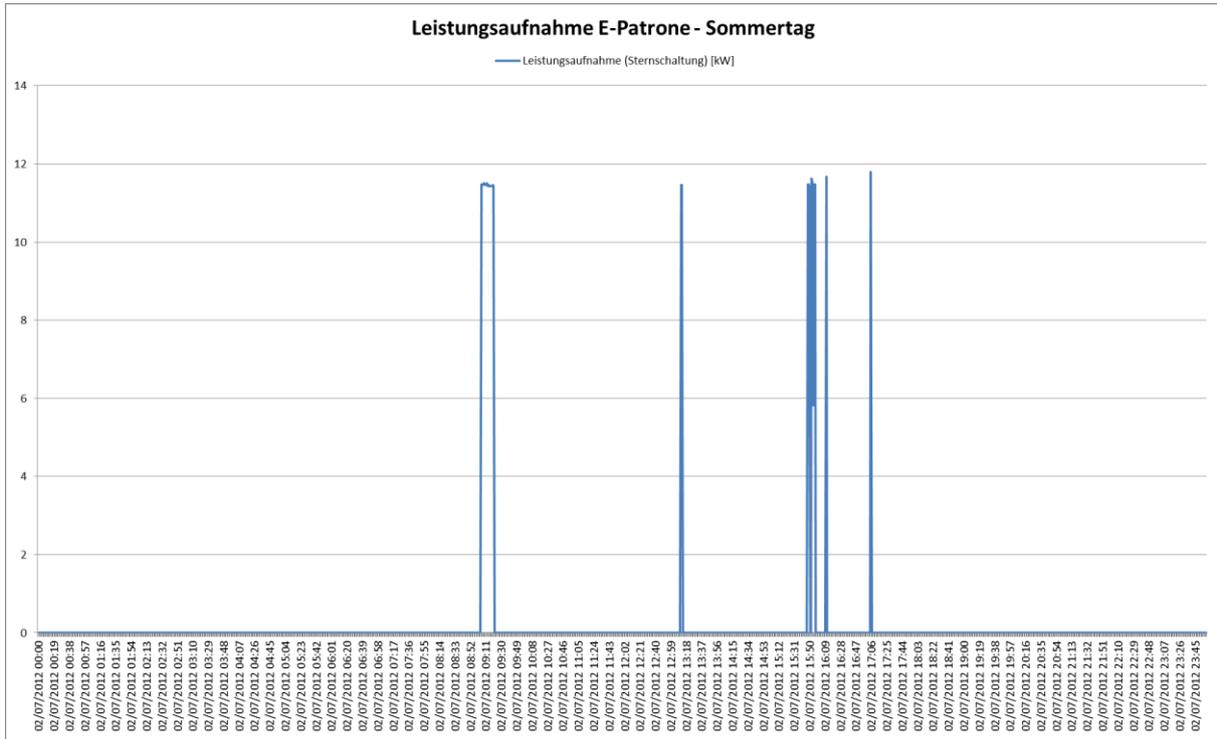
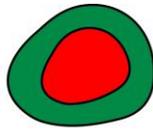
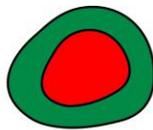


Abbildung 27: Leistungsaufnahme der Heizpatrone an einem Sommertag



## Messung Verwaltung

Die fünfte der Detailmessungen wurde im Bereich der Verwaltung durchgeführt; auch hier wieder während der Winter- sowie in einer Sommerperiode. Ähnlich wie in der Spielgruppe ist auch hier deutlich das Wochenende im Verbrauch von den Wochentagen zu unterscheiden.

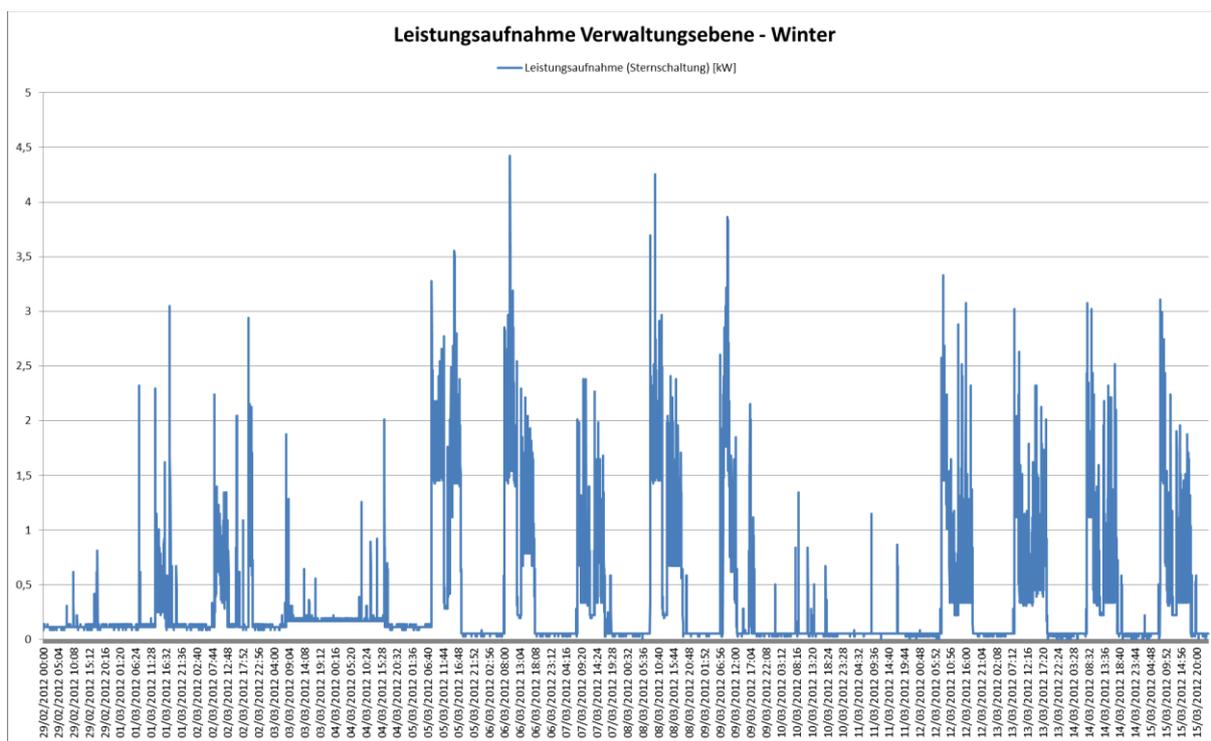


Abbildung 28: Leistungsaufnahme der Verwaltungsebene im Winter (mehrere Tage)

Allerdings ist hier bereits in der groben Auflösung ein Grundverbrauch erkennbar. Bei der Analyse der höheren Auflösung, sind drei Dinge sehr gut zu beobachten.

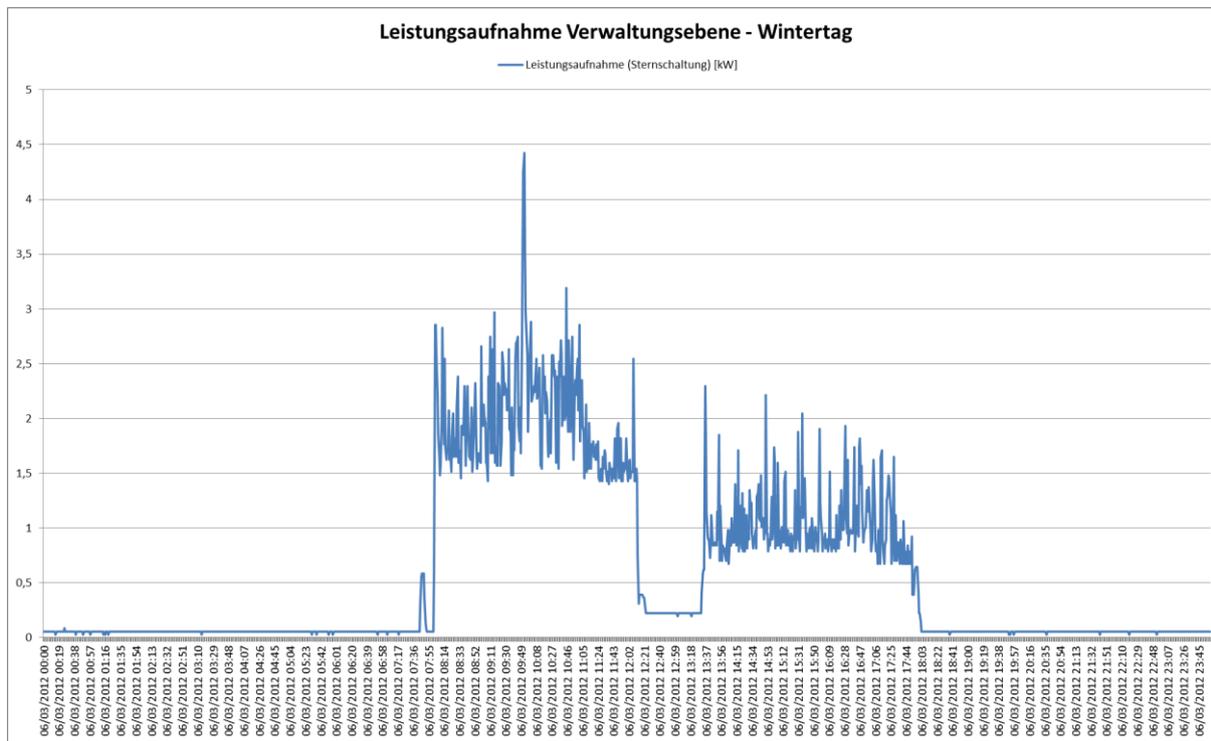
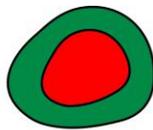
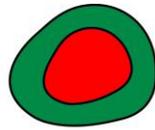


Abbildung 29: Leistungsaufnahme der Verwaltungsebene im Winter (einTag)

Das erste ist, dass –wie bereits erwähnt- es einen konstanten Grundverbrauch von ca. 100 Watt gibt. Dies könnte unter anderem Peripherie des Computer-Netzwerks sein. Sicher konnte das aber nicht eruiert werden. In jedem Fall besteht hier ein gewisses Einsparpotential, da alleine durch diesen Sockel zwischen 800 – 1000 kWh an elektrischer Energie im Jahr verbraucht werden. Die zweite Auffälligkeit ist, das es während der Mittagspause eine deutliche Reduktion der Leistungsaufnahme gibt, so dass davon ausgegangen werden kann, dass Lichter konsequent gelöscht werden und auch sonstige Geräte zuverlässig ausgeschalten werden. Dies führt sich auch in der dritten Auffälligkeit fort, nämlich, dass am Nachmittag der Verbrauch bei dem dargestellten Beispieltag deutlich unterhalb des Vormittagsverbrauchs liegt, was auf ein dem Bedarf angepasstes Verhalten der Nutzer hindeutet.



## Fazit

Zusammenfassend zeigt die Evaluierung der Energieverbräuche des Gemeindezentrums St. Gerold folgendes eindeutig:

### 1. Energieverbrauch liegt unter Berechnung

Der Endenergieverbrauch der Wärmepumpe liegt nach den vorgenommenen Anpassungen an den Einstellungen der Gebäudetechnik sogar unterhalb den errechneten Werten der zertifizierten PHPP Berechnung.

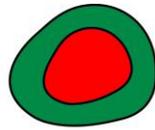
Dies zeigt, dass zertifizierte Passivhäuser halten was sie versprechen, wenn sich um die technischen Anlagen gekümmert wird und diese einreguliert und anfangs im Betrieb optimiert werden. Um die guten Werte weiterhin mit deutlichen geringerem Aufwand kontrollieren und auswerten zu können, wird empfohlen, auf der Sekundärseite der Wärmepumpe einen Wärmemengenzähler zu installieren (ggf. mit Schnittstelle).

### 2. Optimierungspotentiale sehr gut ausgeschöpft

Auf Grund der vorgenommenen Adaptierungen bei der Parametrisierung der Gebäudetechnik, dem sehr energiebewussten Verhalten der Gebäudenutzer sowie dem ohnehin schon stattfindenden Unterschreiten der Berechnungsergebnisse gibt es nur noch sehr wenige Verbesserungsmöglichkeiten (siehe Bericht). Die größten Potentiale liegen hier bei der Taktfrequenz der Kälteaggregate sowie der Wärmepumpe, dem nächtlichen Ausschalten oder Reduzieren der Lüftungsanlage sowie der Reduktion des Verbrauchs der Serveranlage. Nichtsdestotrotz müssen vor allem die Wärmepumpe sowie die Lüftungsanlage weiterhin im Auge behalten werden und stetig an die wechselnden, tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden.

### 3. Vergleich von Verbrauch mit Bedarf erfordert qualitätsgesicherte Rechenverfahren

Auch bei diesem Objekt zeigte sich wieder, dass ein Vergleich der gemessenen Verbräuche mit errechneten Bedarfen nur mit sehr genauen und qualitätsgesicherten Berechnungsmethoden möglich ist, wie dies im Rahmen des Zertifizierungsprozess von Passivhäusern mittels des Passivhaus-Projektierungspakets (PHPP) gemacht wird oder aber auch mittels dynamischer Gebäudesimulation der Fall ist.

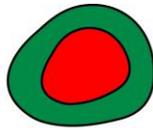


#### **4. Analyse der Ist-Zustände benötigt Zeit und Kooperation**

Die seriöse Analyse von Ist-Zuständen benötigt in der Regel –wie auch in diesem Fall- mindestens zwei Heizperioden und einige Vor-Ort-Termine um aussagekräftige und belastbare Ergebnisse zu erhalten. Erste Zwischenergebnisse und Anpassungen können bereits während der Evaluation erhalten bzw. vorgenommen werden. Wichtig ist auch eine offene, sachliche Diskussion zwischen den Planungsbeteiligten, um den Ursachen auf die Schliche zu kommen, ohne sich gegenseitige Vorwürfe oder Schuldzuweisungen zu machen. Dies hat beim Gemeindezentrum St. Gerold hervorragend funktioniert.

#### **5. Betriebsoptimierung ist essentiell wichtig**

Auch –oder gerade- bei hocheffizienten Gebäuden ist die Betriebsoptimierung von sehr hoher Wichtigkeit und eigentlich unabdingbar. Die Baufertigstellung eines Gebäudes endet nicht mit Abzug des letzten Handwerkers, sondern beinhaltet eine geplante und korrekte Inbetriebnahme und Parametrisierung der Technischen Gebäudeausrüstung sowie eine Evaluierungs- und Optimierungsphase während der ersten zwei bis drei Jahre!



# Anhang

	Heizgradtage gemessen (12/20; Wald am Arberg) kWh/Monat	Heizgradtage gemessen (12/20; Wald am Arberg) kWh/Monat	PPPP [kWh/Monat]	Abweichung Soll / Ist [kWh/Monat]	HWB PPHPP Soll [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	HWB PPHPP Klimakorrigiert (Nutzenergie) [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	W/W Wärmebedarf PPHPP (Nutzenergie + Verluste) [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	Endenergiebedarf PPHPP [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	Endenergiebedarf WP Temperaturkorrigiert auf 12 °C [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	Endenergiebedarf gemessen [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	Endenergiebedarfe [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	Abweichung gemessen - PPPP Klimakorrigiert [kWh/m <sup>2</sup> /Monat]	Abweichung gemessen - Abweichung gemessen - PPPP Klimakorrigiert + temperaturkorrigiert [%]
Jan 10	142	174	174	32	4,1	0	1,275	3,29	1885	1885	0	1296	
Feb 10	149	184	184	35	0,3	0	1,275	1,56	1935	1935	0	1956	
Mär 10	142	182	182	40	0,9	0	1,275	1,02	1935	1935	0	1956	
Apr 10	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,66	1935	1935	0	1956	
Mai 10	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Jun 10	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Juli 10	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Aug 10	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Sep 10	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Oct 10	142	182	182	40	2,3	2,3	1,275	0,66	1935	1935	0	1956	
Nov 10	142	182	182	40	4,5	4,5	1,275	2,59	1935	1935	0	1956	
Dec 10	142	182	182	40	14,2	14,2	1,275	14,18	1935	1935	0	1956	
Summe 2010	1651,5	2057	2057	405,5	34,2	34,2	1,275	14,18	18,88	19446	25,5	80%	
Summe 2010 (Feb-Dec)	1651,5	2057	2057	405,5	34,2	34,2	1,275	14,18	18,88	19446	25,5	80%	
Jan 11	142	182	182	40	0,1	0	1,275	1,56	1935	1935	0	1956	
Feb 11	142	182	182	40	0,3	0	1,275	1,46	1935	1935	0	1956	
Mär 11	142	182	182	40	0,9	0	1,275	0,95	1935	1935	0	1956	
Apr 11	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,62	1935	1935	0	1956	
Mai 11	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Jun 11	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Juli 11	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Aug 11	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Sep 11	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,66	1935	1935	0	1956	
Oct 11	142	182	182	40	2,3	2,3	1,275	0,66	1935	1935	0	1956	
Nov 11	142	182	182	40	4,5	4,5	1,275	2,59	1935	1935	0	1956	
Dec 11	142	182	182	40	14,2	14,2	1,275	14,18	1935	1935	0	1956	
Summe 2011	1651,5	2057	2057	405,5	34,2	34,2	1,275	14,18	18,88	19446	25,5	80%	
Jan 12	142	182	182	40	0,1	0	1,275	1,56	1935	1935	0	1956	
Feb 12	142	182	182	40	0,3	0	1,275	1,46	1935	1935	0	1956	
Mär 12	142	182	182	40	0,9	0	1,275	0,95	1935	1935	0	1956	
Apr 12	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,62	1935	1935	0	1956	
Mai 12	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Jun 12	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Juli 12	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Aug 12	142	182	182	40	0,0	0	1,275	0,57	1935	1935	0	1956	
Sep 12	142	182	182	40	0,2	0	1,275	0,66	1935	1935	0	1956	
Oct 12	142	182	182	40	2,3	2,3	1,275	0,66	1935	1935	0	1956	
Nov 12	142	182	182	40	4,5	4,5	1,275	2,59	1935	1935	0	1956	
Dec 12	142	182	182	40	14,2	14,2	1,275	14,18	1935	1935	0	1956	
Summe 2012	1651,5	2057	2057	405,5	34,2	34,2	1,275	14,18	18,88	19446	25,5	80%	

Abbildung 30: Datenauswertung (Zusammenfassung)