

MONITORING DES PASSIVHAUSKINDERGARTENS ZUR ÜBERPRÜFUNG DER ENERGIEBILANZEN

F2-B-F-2175

ENDBERICHT



AutorInnen

Waldemar Wagner
Monika Spörk-Dür

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Gleisdorf, im März 2012

Auftraggeber:

Stadtgemeinde Deutsch-Wagram

Bahnhofstraße 1a
A-2232 Deutsch-Wagram

Vizebürgermeister Amrita Enzinger
Tel.: ++43 / 02247 / 2209 29
e-Mail: enzinger.amrita@deutsch-wagram.gv.at
<http://www.deutsch-wagram.gv.at>

Auftragnehmer:

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Feldgasse 19
A-8200 Gleisdorf

Ing. Waldemar Wagner
Tel.: ++43 / 3112 / 5886 60
Fax: ++43 / 3112 / 5886 18
e-Mail: w.wagner@aee.at
<http://www.aee-intec.at>



INHALTSVERZEICHNIS

	KURZFASSUNG.....	4
1	ZIEL DES PROJEKTES.....	5
2	PROJEKT BETEILIGTE	5
3	STANDORTINFORMATIONEN	6
	3.1 Geografische Daten	6
	3.2 Klimadaten	6
4	BESCHREIBUNG DES GEBÄUDEKONZEPTS.....	7
	4.1 Architektur	7
	4.2 Angabe der Energiebezugsflächen	9
	4.2.1 Berechnung der Energiebezugsfläche treated floor area (TFA)	9
	4.3 Beschreibung des Haustechnikkonzeptes	10
	4.3.1 Lüftungsanlage	11
	4.4 Messtechnikkonzept	12
5	ANALYSE DER MESSDATEN	17
	5.1 Einleitung	17
	5.2 Wetterdaten	17
	5.3 Komfortparameter	18
	5.4 Energiebilanz	28
	5.5 Stromverbrauch	34
	5.6 Lüftungsanlage	39
6	ZUSAMMENFASSUNG DER MESSERGEBNISSE UND FAZIT.....	42
7	QUELLENVERZEICHNIS	44

Kurzfassung

Der Passivhaus-Kindergarten Deutsch-Wagram wurde von Mai 2008 – Juli 2009 im Auftrag der Stadtgemeinde Deutsch-Wagram errichtet.

Der viergruppige Kindergarten steht an der Nordseite des Grundstückes und öffnet sich nach Süden. Dadurch ist es möglich, die Sonne sowohl aktiv als auch passiv zu nutzen. Die vier Gruppenräume sind alle an der Südseite untergebracht, der Bewegungsraum an der Westseite und sämtliche Nebenräume befinden sich an der Nordseite des Gebäudes. Die Erschließung der Räume erfolgt über eine Halle, die über Oberlicht direkt und über einen Windfang, offene Garderoben und gedeckte Terrassen indirekt belichtet wird.

Die installierten Photovoltaikmodule dienen der sommerlichen Verschattung der Gruppenräume, eine 30 m² große thermische Solaranlage sorgt gemeinsam mit einer Grundwasser-Wärmepumpe für die Beladung eines Wärmespeichers. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über die Lüftungsanlage sowie Wandheizung und Heizkörper. Der Bau wurde als Fertigteilbau und behindertengerecht ausgeführt.

Im Rahmen eines zweijährigen Monitoring wurden die Komfortparameter Raumtemperatur, Raumluftfeuchte und CO₂ - Konzentration der Gruppenräume untersucht sowie eine Energiebilanz erstellt. Außerdem wurden die Stromverbräuche, insbesondere der Stromverbrauch der Lüftungsanlage und der Grundwasserpumpe analysiert.

Das erste Jahr des Monitorings diente der Einstellung der heiz- und lüftungstechnischen Anlagen, der Erkennung von Schwachstellen und der Ermittlung von Optimierungspotenzialen.

Der Heizwärmebedarf lag im ersten Messjahr bei 54,51 kWh/m²_{TFA} (TFA...treated floor area nach dem Passivhausprojektierungspaket PHPP), der Stromverbrauch der Wärmepumpe lag bei 18,70 kWh/m²_{TFA}, der Stromverbrauch der Grundwasserpumpe bei 19,11 kWh/m²_{TFA} und der Stromverbrauch der Lüftungsanlage bei 10,16 kWh/m²_{TFA}. Durch Maßnahmen wie die Änderung der Schaltungszeiten der Wärmepumpe, Änderung der Laufzeiten der Zirkulation, Änderung der Laufzeiten der Lüftungsanlage, Verringerung des Volumenstroms sowie Änderung des Schaltzeitpunktes der Vorheizung der Lüftungsanlage konnte der Energieverbrauch im zweiten Messjahr massiv gesenkt werden. Auch die Beseitigung der Fehlfunktion der Oberlichten, die sich nicht ordnungsgemäß geschlossen hatten, trug zur Energieeinsparung bei. Im zweiten Messjahr nahm der Anteil der Heizung über die Lüftungsanlage stark ab, das heißt die Heizleistung wurde größtenteils über Wandheizung und Heizkörper eingebracht. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe ohne Berücksichtigung der Grundwasserpumpe verbesserte sich im Jahresmittel von 2,7 auf 3,7. Mit Berücksichtigung der Grundwasserpumpe betrug der Wert der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im zweiten Messjahr 1,8.

Im Vergleich zum ersten Messjahr ergaben sich primärenergetische Einsparungen von über 50 %, eine Erhöhung des solaren Anteils der Energieerzeugung von 38 % auf 59 % und eine Stromeinsparung bei Lüftungsstrom, Wärmepumpe und Grundwasserpumpe von 51 % bzw. 60 %.

Die Luftqualität im Passivhaus-Kindergarten kann sowohl im Hinblick auf Raumtemperatur, Raumfeuchte und CO₂-Konzentration als sehr gut bezeichnet werden.

Mit der positiven Entwicklung des Projektes sowohl in Bezug auf Energieverbrauch als auch Raumkomfort wird deutlich, dass durch das begleitende Monitoring Verbesserungspotentiale erkannt, Vorschläge zur Verringerung des Energieverbrauchs gemacht und durch die weitere messtechnische Begleitung auch evaluiert werden konnten.

1 Ziel des Projektes

Da Aspekte wie das Lüftungsverhalten, Raumtemperaturen oder der persönliche Umgang mit internen Lasten bzw. passiven solaren Energieeinträgen das Gebäudeverhalten bei modernen Niedrigstenergiebauweisen beträchtlich beeinflussen, sollen die energierelevanten Detailauswertungen im Zusammenhang mit dem Benutzerverhalten Aussagen über die Alltagstauglichkeit der Gebäude ermöglichen.

Die energietechnische Evaluierung beinhaltet die Energiebilanz über das gesamte Gebäude bzw. über die einzelnen Verteilgruppen mit speziellem Fokus auf den Heizenergieverbrauch, den Stromverbrauch für technische Einrichtungen bzw. die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte sowie die CO₂-Konzentration der Raumluft.

2 Projektbeteiligte

Auftraggeber
Architekt
Konsulent Haustechnik
Konsulent Statik
Elektrotechnik
Heizung, Sanitär, Lüftung
Brunnenbau

Stadtgemeinde Deutsch-Wagram
Arch. Georg W. Reinberg
teamgmi
DI Riebenbauer
HATEC Elektrotechnik GmbH
Scheu GmbH
GEOBOHR Brunnenbau

3 Standortinformationen

3.1 Geografische Daten

Der Passivhaus Kindergarten liegt am Rande der Grünzone der Stadtgemeinde Deutsch-Wagram (Niederösterreich) in der Robert-Blum-Straße 47a.

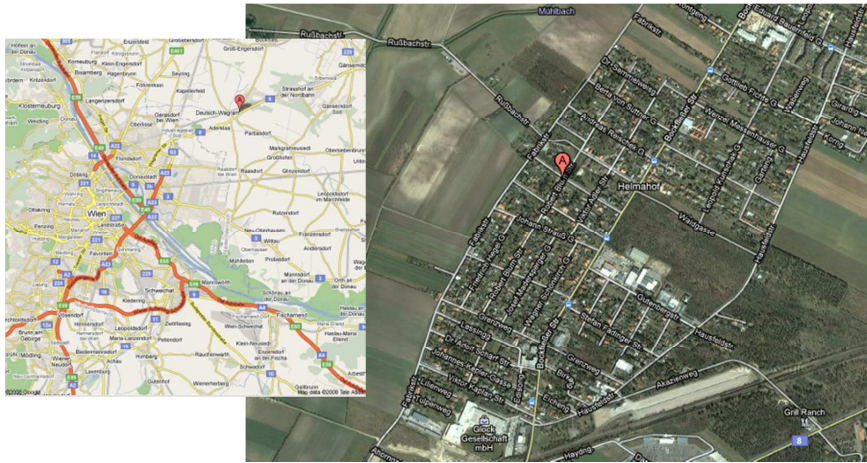


Abbildung 1: Lage des Kindergartens in [google maps]

Nördliche Breite Deutsch-Wagram: 48°18'

Östliche Länge Deutsch Wagram: 16°34'

Seehöhe: 160 m ü.A.

3.2 Klimadaten

Tabelle 1: Jährliche Klimadaten [OIB]

PLZ	Ortsname	Seehöhe	HGT _{12/20}	HT ₁₂	θ_e	θ_{ne}	I _s	I _{O/W}	I _N	I _{horizontal}
		m	Kd/a	d	°C	°C	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a
2232	Deutsch Wagram	160	3536	212	3,32	-14	371	226	154	384

HGT_{12/20} Heizgradtage in der Heizperiode

HT₁₂ Heiztage in der Heizperiode

θ_e Mittlere Außentemperatur in der Heizperiode

θ_{ne} Normaußentemperatur

I_s, I_{O/W}, I_N, I_{horizontal} ... Strahlungsintensitäten in der Heizperiode

4 Beschreibung des Gebäudekonzepts

4.1 Architektur

Das eingeschöbige, nicht unterkellerte Kindergartengebäude steht an der Nordseite des Grundstückes und öffnet sich nach Süden. Der Gartenbereich wird den ganzen Tag über besonnt. Die vier Gruppenräume sind alle an der Südseite untergebracht, der Bewegungsraum an der Westseite und sämtliche Nebenräume befinden sich an der Nordseite des Gebäudes. Die Erschließung der Räume erfolgt über eine Halle, die über Oberlicht direkt und über einen Windfang, offene Garderoben und gedeckte Terrassen indirekt beleuchtet wird.



Abbildung 2: Kindergartenansicht von Süden [AEE INTEC]

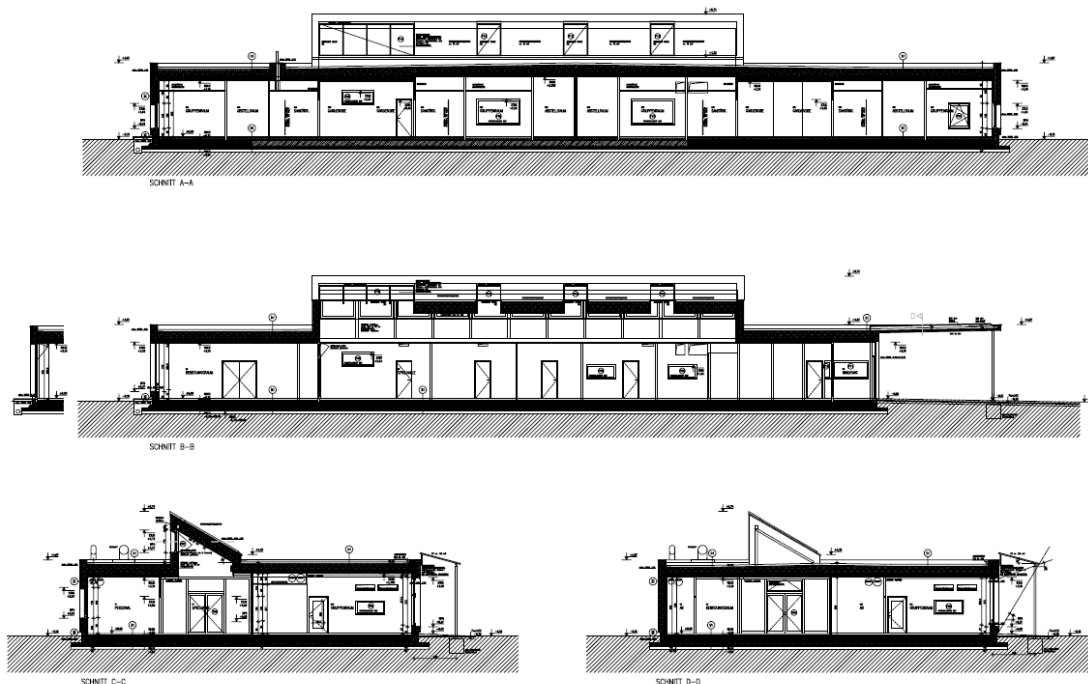


Abbildung 3: Schnitte durch das Kindergartengebäude [Architekturbüro Reinberg ZT GmbH]

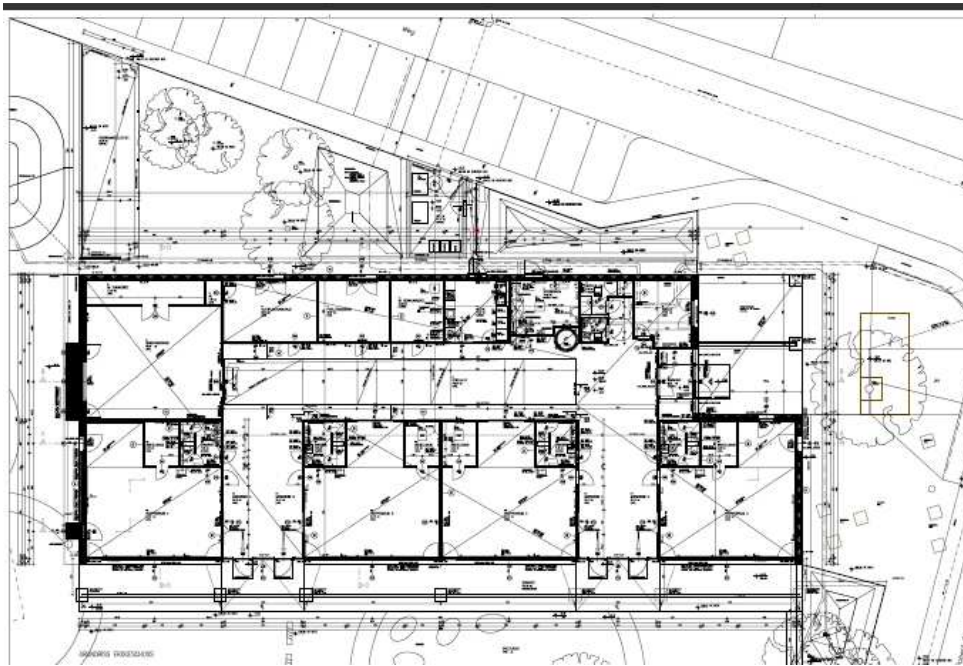


Abbildung 4: Grundriss des Kindergartengebäudes [Architekturbüro Reinberg ZT GmbH]

Die Fundamentplatte des Gebäudes besteht aus Stahlbeton. Tragende Wände und Decken wurden aus Brettsperrholzplatten angefertigt. Die Zwischenwände bestehen aus Brettsperrholzplatten und Gipskarton. Die Innenwände wurden mit Lehmputz verputzt. Die Außenwände wurden mit Steinwolle gedämmt und eine Lärchenholzschalung angebracht. Die Dachfläche wurde mit einer EPS Dämmung gedämmt und begrünt.

In der folgenden Tabelle sind die Aufbauten des Kindergarten Deutsch-Wagram mit den zugehörigen U-Werten dargestellt.

Tabelle 2: Bauteilaufbauten Kindergarten Deutsch-Wagram [PHPP-Berechnung]

Konstruktion	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m²K]
Außenwand Leichtbau	Lehmputz	1,5	0,141
	Holz	10,0	
	Steinwolle	30,0	
Boden Gruppenräume, Bewegungsräume, Spielhalle	Linoleum	0,5	0,123
	Zementestrich	8,0	
	EPS	10,0	
	Beschüttung	3,0	
	Dichtbetonfundament	30,0	
	EPS	14,0	
	Schüttung	21,0	
Boden Windfang, Eingangsbereich, Nebenräume, Garderoben, Naßräume	Fliesen	1,5	0,123
	Zementestrich	7,0	
	EPS	10,0	
	Beschüttung	3,0	
	Dichtbetonfundament	30	
	XPS	14,0	
	Schüttung	21,0	
Grasdach	Holz	18,0	0,074
	Dampfsperre	0,5	
	EPS	40,0	
	2-lagige Feuchtigkeits.	1,0	
	Bitumen WF	0,5	
	Pflanzensubstrat	-	
Fenster gesamt	g-Wert 0,5		0,84
Außentür			1,00

4.2 Angabe der Energiebezugsflächen

4.2.1 Berechnung der Energiebezugsfläche treated floor area (TFA)

Zur Berechnung der TFA ist zunächst die thermische Hülle festzulegen. Sie wird durch die Außenoberflächen der wärme gedämmten Außenbauteile gebildet. Die thermische Hülle enthält alle beheizten Räume. Sie bildet zugleich die Bilanzgrenze für die Energiebilanz. In die TFA gehen nur Flächen innerhalb der thermischen Hülle ein.

Die TFA eines Gebäudes ist die Summe der TFAs der zum Gebäude gehörenden Räume, die entweder oberirdisch gelegen sind oder deren Fensterfläche mindestens 10 % der Grundfläche ausmacht.

- Keller, Technikräume u.ä. innerhalb der thermischen Hülle werden zu 60% angerechnet.
- Berechnung der Grundfläche:
 - o Die Grundfläche eines Raumes wird aus den Rohbaumaßen ermittelt. Ein Abzug für Putz usw. ist nicht vorzunehmen.
 - o Als Rohbaumaße sind die lichten Maße zwischen den Wänden anzusetzen ohne Berücksichtigung von Wandgliederungen, Wandbekleidungen, Fuß- und Scheuerleisten, Öfen, Heizkörpern usw.
- Schornsteine, Pfeiler, Säulen usw. mit weniger als 0,1 m² Grundfläche werden nicht von der Energiebezugsfläche (TFA) abgezogen.
- Tür- und Fensternischen werden nicht berücksichtigt.
- Schrägen:
 - o Raumteile mit einer lichten Höhe von mindestens 2 Metern werden voll angerechnet.
 - o Raumteile mit einer lichten Höhe von mindestens 1 und weniger als 2 Metern werden zur Hälfte angerechnet.

In der folgenden Tabelle werden die Nutzfläche und die Energiebezugsfläche (TFA) dargestellt. Für die Gruppenräume entspricht die Nutzfläche der TFA.

Tabelle 3: Energiebezugsflächen der Gruppenräume und des gesamten Kindergartens (inkl. Nebenräume)

	Nutzfläche [m ²]	TFA [m ²]
Gruppenraum A	61,35	61,35
Gruppenraum B	61,21	61,21
Gruppenraum C	61,21	61,21
Gruppenraum D	61,59	61,59
Abstellraum	6,46	3,876
Abstellraum	6,46	3,876
Abstellraum	6,46	3,876
Abstellraum	6,46	3,876
Sanitär	7,35	7,35
Sanitär	7,35	7,35
Sanitär	7,35	7,35
Sanitär	7,35	7,35
Garderobe A	23,13	23,13
Garderobe B	23,13	23,13
Garderobe C	23,13	23,13
Garderobe D	48,54	48,54
Spielhalle	146,61	146,61
Windfang	9,92	5,952
Bewegungsraum	63,66	63,66
Abstellraum Turngeräte	11,64	6,984
Multifunktionalraum	23,54	23,54
Abstellraum	1,52	0,912
Personal Garderobe	18,07	18,07
Abstellraum Reinigungsgerät	13,33	7,998
Küche	16,07	16,07
Technikraum	14,40	8,64
Wickelraum und Dusche	5,59	5,59
WC	2,58	2,58
SUMME Kindergarten Deutsch-Wagram (inkl. Bewegungsraum und Nebenräumen)	745,46	714,8

4.3 Beschreibung des Haustechnikkonzeptes

Der Kindergarten Deutsch-Wagram nutzt die eingestrahlte Sonnenenergie sowohl passiv als auch aktiv. Die installierten Photovoltaikmodule dienen der sommerlichen Verschattung der Gruppenräume. Eine 30 m² große thermische Solaranlage sorgt gemeinsam mit einer Grundwasser-Wärmepumpe Type Terra 22S/28W-HGL mit 25 kW Nennleistung bei einer Vorlauftemperatur von 55°C für die Beladung eines 2.690l großen Wärmespeichers. (siehe Abbildung 5). Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über die Lüftungsanlage sowie Wandheizung und Heizkörper.

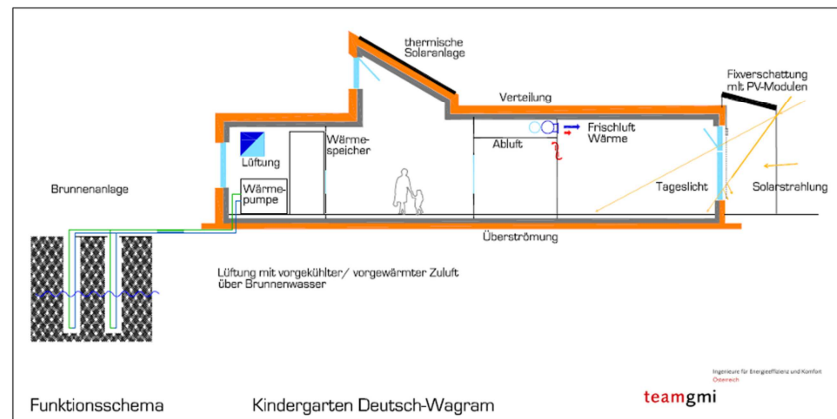


Abbildung 5: Prinzipschema des Systemkonzeptes des Kindergartens Deutsch-Wagram[teamgmi]

4.3.1 Lüftungsanlage

Der Kindergarten Deutsch-Wagram ist mit einer Lüftungsanlage der Firma Ned Air b.v. mit Vor- und Nachheizregister und hochwertiger Wärmerückgewinnung ausgestattet. Das Vorheizregister dient im Winter der Frostfreihaltung und im Sommer der Vorkühlung der Außenluft. Das Vor- und das Nachheizregister der Lüftungsanlage werden durch die Wärmepumpe versorgt. Der Nennluftvolumenstrom der Lüftungsanlage beträgt $2.920 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Rückwärmezahl des Lüftungsgerätes ist größer 0,8. Die Luft wird über Spiralfalzrohre verteilt, die teilweise sichtbar, teilweise in der abgehängten Decke montiert sind. Die Einbringung der Luft erfolgt über Weitwurfdüsen und die Absaugung der Abluft erfolgt über Lineargitter. Die Frishluft wird über die Fassade angesaugt, die Fortluft wird über Dach ausgeblasen. Abbildung 6 zeigt die Wärmerückgewinnungseinheit des Lüftungsgerätes.



Abbildung 6: Wärmerückgewinnungseinheit des Lüftungsgerätes [AEE INTEC]

4.4 Messtechnikkonzept

Ziele der Basismessung für den Passivhaus-Kindergarten:

Das Ziel der Messungen liegt in der Erfassung und Überprüfung folgender Parameter:

- Gesamtenergieverbrauch für das Gebäude in kWh/m²a
- Gesamtheizenergieverbrauch für das Gebäude in kWh/m²a
- Einhaltung der Grenzwerte für die Komfortparameter Raumtemperatur und Raumfeuchte in ausgewählten Aufenthaltsbereichen
- Zentrale Energiezufuhr durch die Zusatzheizung
- Detaillierte Vermessung der Systemtemperaturen im Heizungs- und Lüftungssystem

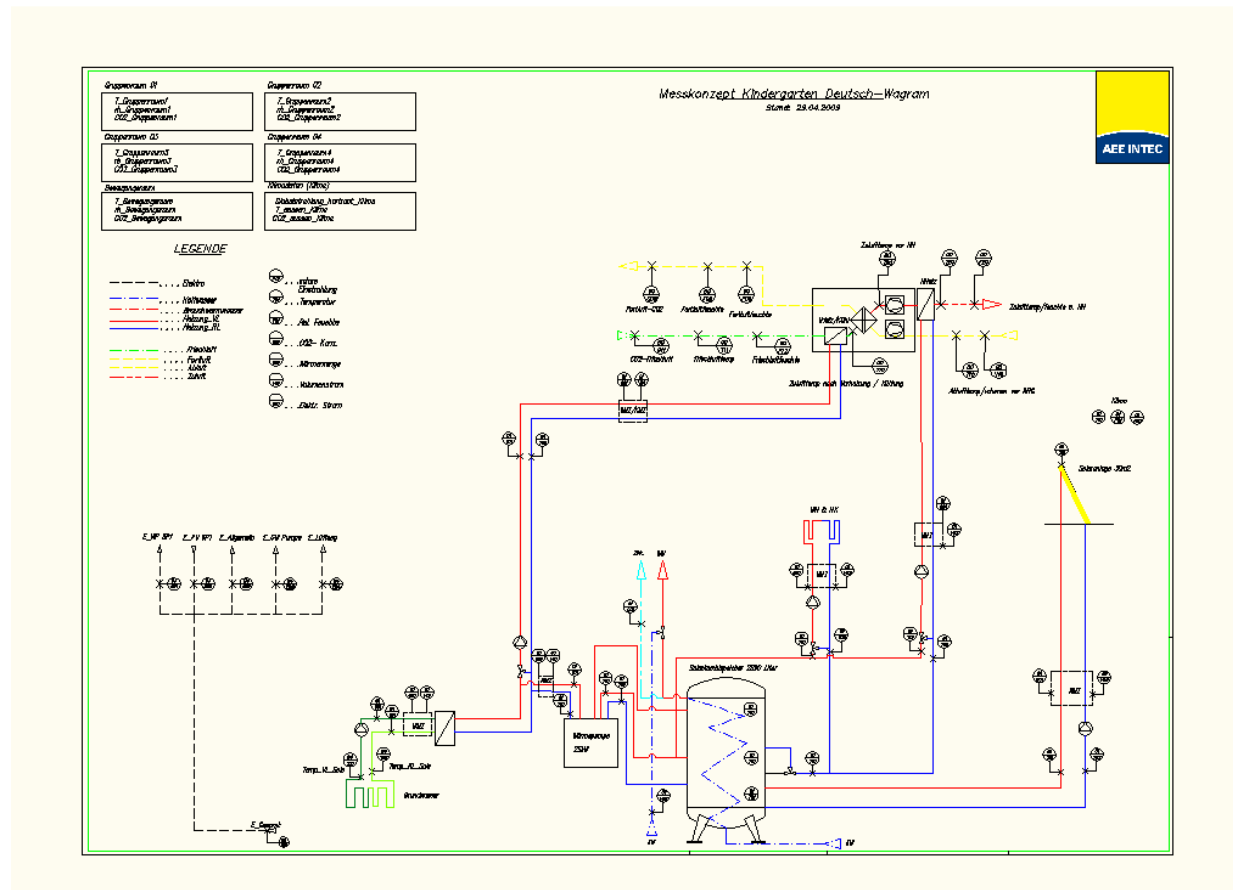
Zusätzlich sollen folgende Detailergebnisse betrachtet werden:

- Energieverbrauch für Raumheizung je m² (TFA)
- Darstellung des elektrischen Energieverbrauchs:
 - Gesamtstromverbrauch
 - Getrennte Erfassung des Stromverbrauchs von
 - Lüftungsanlage
 - Wärmepumpe
 - Grundwasserpumpe (Brunnenpumpe als Wärme- und Kältequelle)
 - Solepumpe
 - Kochbereich
 - Eintrag der PV Anlage

Folgende Messgrößen werden erfasst:

- Klimadaten: Globalstrahlung, Außentemperatur, Außenfeuchte
- Wärmemengen für Warmwasser und für Heizwasser
- Messung der Temperatur und der relativen Feuchte der Zu- und Abluft sowie der Temperatur der Frisch- und Fortluft
- Komfortparameter in den einzelnen Räumen: Raumtemperatur, rel. Feuchte sowie CO₂-Konzentrationen der Raumluft

Messtechnikschema



AUSWERTUNGEN DER MESSDATEN

Die Auswertung sieht als wichtigste Überblicksgrößen die Ermittlung folgender Kennzahlen vor:

- Endenergieverbrauch für das Gebäude in kWh/m²a
- Heizenergieverbrauch für das Gebäude in kWh/m²a (Heizwärmeverbrauch und Warmwasser)
- Stromverbrauch für das Gebäude in kWh/m²a
- Primärenergieverbrauch

Die Darstellung der Messwerte erfolgt in Liniendiagrammen:

- Raumtemperaturen stündlich im Tagesverlauf bzw. als Tages- und Monatsmittelwerte
- Raumfeuchte stündlich im Tagesverlauf bzw. als Tages- u. Monatsmittelwerte
- CO₂-Konzentrationen stündlich im Tagesverlauf bzw. als Tages- u. Monatsmittelwerte
- Darstellung der Raumtemperatur über der Raumlufffeuchte
- Verteilung der Raumtemperaturen über der Außentemperatur
- Darstellung der CO₂-Konzentrationen über der Raumlufffeuchte

In der folgenden Tabelle werden die Messstellen des Kindergartens Deutsch-Wagram unter Angabe von Messgrößen und Einbauorten dargestellt.

Tabelle 4: Messstellenliste Kindergarten Deutsch-Wagram

Messgerät	Messgröße	Klassifizierung	Bemerkung	Einbauort des Messgerätes	Ort	Typ
Systemparameter						
WMZ	Hydraul. Energie	Q-WP_HT	abgegebene Energie in den Speicher	Technikraum	08	Q
WMZ	Hydraul. Energie	Q-WP_RL	Wärmepumpe	Technikraum	08	Q
WMZ	Hydraul. Energie	Q-LU_VHZ	Vorheizregister der Lüftungsanlage	Technikraum	08	Q
WMZ	Hydraul. Energie	Q-SOLAR	Solarertrag in Speicher	Technikraum	08	Q
WMZ	Hydraul. Energie	Q-WW	WW-Verbrauch	Technikraum	08	Q
WMZ	Hydraul. Energie	Q-NHR	Nachheizregister	Technikraum	08	Q
WMZ	Hydraul. Energie	Q-WAND	Wandheizung und Heizkörper	Technikraum	08	Q
WMZ	Volumsstrom	V-WP_HT	Wärmepumpe	Technikraum	08	V
WMZ	Volumsstrom	V-WP_RL	Wärmepumpe	Technikraum	08	V
WMZ	Volumsstrom	V-LU_VHZ	Vorheizregister Lüftung	Technikraum	08	V
WMZ	Volumsstrom	V-SOLAR	Solaranlage	Technikraum	08	V
WMZ	Volumsstrom	V-WW	Warmwasser	Technikraum	08	V
KWZ	Volumsstrom	V-KW	gesamter Kaltwasserverbrauch im Kindergarten	Technikraum	08	V
Temp.fühler	Temperatur	T-WP_VL_HT	Wärmepumpe	Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-WP_VL_NT	Wärmepumpe	Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-WP_RL	Wärmepumpe	Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-LU_VHZ_VL	Lüftung Vorheizregister	Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-LU_VHZ_RL	Lüftung Vorheizregister	Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-SOLAR_VL		Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-SOLAR_RL		Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-WW_VL		Technikraum	08	T
Temp.fühler	Temperatur	T-ZIRK_RL		Technikraum	08	T
Lüftungsparameter						
Kanalfühler	Temperatur	T-FRL	Frischlufttemp.	Technikraum	09	T
Kanalfühler	Temperatur	T-FRL_ee	Frischluft nach VHR	Technikraum	09	T
Kanalfühler	Rel. Feuchte	rH-FRL_ee	Rel. Feuchte nach VHR	Technikraum	09	rH
Kanalfühler	Temperatur	T-ZUL_ee	Zulufttemperatur vor NHR	Technikraum	09	T
Kanalfühler	Rel. Feuchte	rH-ZUL_ee	Rel. Feuchte vor NHR	Technikraum	09	rH
Kanalfühler	Temperatur	T-ZUL	Zulufttemperatur	Technikraum	09	T
Kanalfühler	Temperatur	T-ZUL_n_WRG	Zulufttemperatur nach WRG	Technikraum	09	T
Kanalfühler	CO ₂	CO ₂ -ZUL_n_WRG	CO ₂ -Konzentration nach WRG	Technikraum	09	CO ₂
Kanalfühler	Temperatur	T-ABL_ee	Ablufttemperatur	Technikraum	09	T
Kanalfühler	Rel. Feuchte	rH-ABL_ee	Rel. Feuchte der Abluft	Technikraum	09	rH
Kanalfühler	Temperatur	T-FOL_ee	Fortlufttemperatur	Technikraum	09	T
Kanalfühler	Rel. Feuchte	rH-FOL_ee	Rel. Feuchte der Fortluft	Technikraum	09	rH
Temp.fühler	Temperatur	T-HEIZRAUM	Raumtemperatur	Technikraum	09	T
Komfortparameter						

Temp.fühler	Raumtemp.	T-GR_A	Süd / West	Gruppenraum A	01	T
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	RH-GR_A	Süd / West	Gruppenraum A	01	F
CO ₂ -Fühler	CO ₂	CO ₂ -GR_A	Süd / West	Gruppenraum A	01	C
Temp.fühler	Raumtemp.	T-GR_B	Süd	Gruppenraum B	02	T
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	RH-GR_B	Süd	Gruppenraum B	02	F
CO ₂ -Fühler	CO ₂	CO ₂ -GR_B	Süd	Gruppenraum B	02	C
Temp.fühler	Raumtemp.	T-GR_C	Süd	Gruppenraum C	03	T
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	RH-GR_C	Süd	Gruppenraum C	03	F
CO ₂ -Fühler	CO ₂	CO ₂ -GR_C	Süd	Gruppenraum C	03	C
Temp.fühler	Raumtemp.	T-GR_D	Süd / Ost	Gruppenraum D	04	T
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	RH-GR_D	Süd / Ost	Gruppenraum D	04	F
CO ₂ -Fühler	CO ₂	CO ₂ -GR_D	Süd / Ost	Gruppenraum D	04	C
Temp.fühler	Raumtemp.	T-GR_BEW	Nord / West	Bewegungsraum	05	T
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	RH-GR_BEW	Nord / West	Bewegungsraum	05	F
CO ₂ -Fühler	CO ₂	CO ₂ -GR_BEW	Nord / West	Bewegungsraum	05	C
Klimadaten						
Pyranometer	Globalstr.	EINSTRALUNG-hor	Einstrahlung Waagrecht	Dach	00	P
Pyranometer	Globalstr.	EINSTRALUNG-sued	Einstrahlung Süd-Senkrecht	Dach	00	P
Temp.fühler	Temperatur	T-AUSSEN	1x Kat 6 mit Verteiler		00	T
Feuchtefühler	Rel. Feuchte	RH-AUSSEN			00	F
Stromzähler						
E-Zähler	El.-Energie	E-GES	EVN-Zähler mit Impuls	Elektrokasten Gang	07	E
E-Zähler	El.-Energie	E-PV	EVN-Zähler mit Impuls	Elektrokasten Gang	07	E
E-Zähler	El.-Energie	E-LUEFTUNG	die ges. Anlage mit Regelung, Ventilatoren,..	Technikraum	08	E
E-Zähler	El.-Energie	E-WP_inkl_PU	Wärmepumpe mit Regelung und Pumpen	Technikraum	08	E
E-Zähler	El.-Energie	E-PU_BRUNNEN	Grundwasserpumpe	Technikraum	08	E
E-Zähler	El.-Energie	E-PU_VHZ	Pumpe Vorheizregister	Technikraum	08	E
E-Zähler	El.-Energie	E-KOCHEN	Kochen ges.	E-Verteiler		E
Status Oberlichten						
Status	Oberlichten	Oberlichten_GR_A	Süd / West	Gruppenraum A		
Status	Oberlichten	Oberlichten_GR_B	Süd	Gruppenraum B		
Status	Oberlichten	Oberlichten_GR_C	Süd	Gruppenraum C		
Status	Oberlichten	Oberlichten_GR_D	Süd / Ost	Gruppenraum D		
Status	Oberlichten	Oberlichten_Gang_AB	Gang zw. AB	Gang zw. AB		
Status	Oberlichten	Oberlichten_Gang_CD	Gang zw. CD	Gang zw. CD		
Status	Oberlichten	Oberlichten_Bewegung	Bewegung			
Status	Nachtlüftung	Oberlichten_Gang	Gang - Schrägdach	Gangdach		

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Messtechnikkomponenten des Kindergartens Deutsch-Wagram.

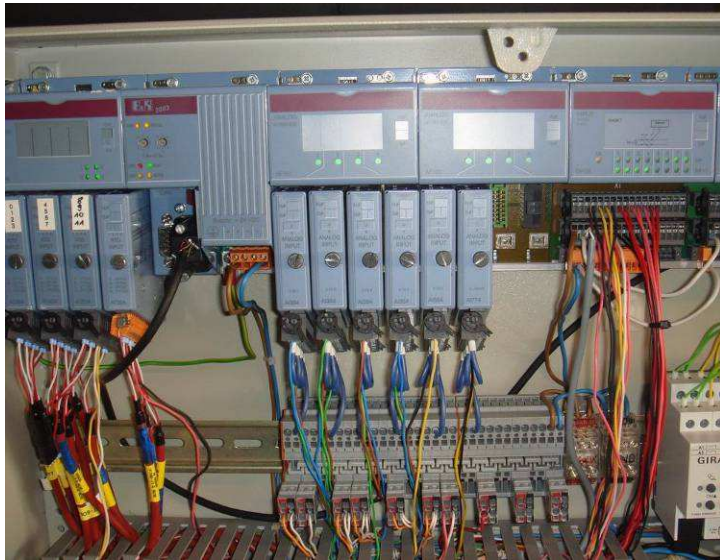


Abbildung 7: Messtechnikkomponenten Kindergarten Deutsch-Wagram (Bild links oben: Datenerfassung im Stromkasten, Bild links unten: Temperatur- und Feuchteerfassung in der Lüftungsanlage, Bild rechts: Strahlungssensor auf dem Dach montiert) [AEE INTEC]

5 Analyse der Messdaten

5.1 Einleitung

Dieses Kapitel beinhaltet die Messergebnisse des Messzeitraums von 1. September 2009 bis 30. September 2011.

Im Rahmen des Monitoring wurden die Komfortparameter Raumtemperatur, relative Luftfeuchte und CO₂-Konzentration ausgewertet und eine Energiebilanz erstellt. Für die Berechnung der Primärenergiekennzahl wurde ein Primärenergiefaktor (PEF) für Strom von 2,7 verwendet [PHPP 2007].

Die Auswertung der Komfortparameter wurde für den Zeitraum 1. September 2009 bis 31. August 2011, die Auswertung der Energiebilanz für den Zeitraum 1. Oktober 2009 – 30. September 2011 durchgeführt. Dieses Vorgehen rührt aus der Tatsache, dass im September 2010 Umstellungen an der Heizungsanlage vorgenommen wurden, die in der Bilanz des ersten Messjahres erfasst werden.

5.2 Wetterdaten

Abbildung 8 zeigt einen Vergleich der Klimadaten für Wien, die im Rahmen des Projektes „Promotion of European Passive Houses“ [PEP] für die Verwendung im Passivhausprojektierungspaket (PHPP) festgelegt wurden, mit den von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) an der Messstation Wolkersdorf (ca. 10 km nördlich von Deutsch-Wagram) erhobenen Werten. Die mittlere Außentemperatur lag bis zu 2,7°C über (April 2011) und bis zu 3°C unter den Werten für Wien (Oktober 2010). Die Globalstrahlung auf die Horizontale lag bis zu 43 kWh/m²Monat über (Mai 2011) und bis zu 27 kWh/m²Monat unter den für Wien festgelegten Werten (Mai 2010).

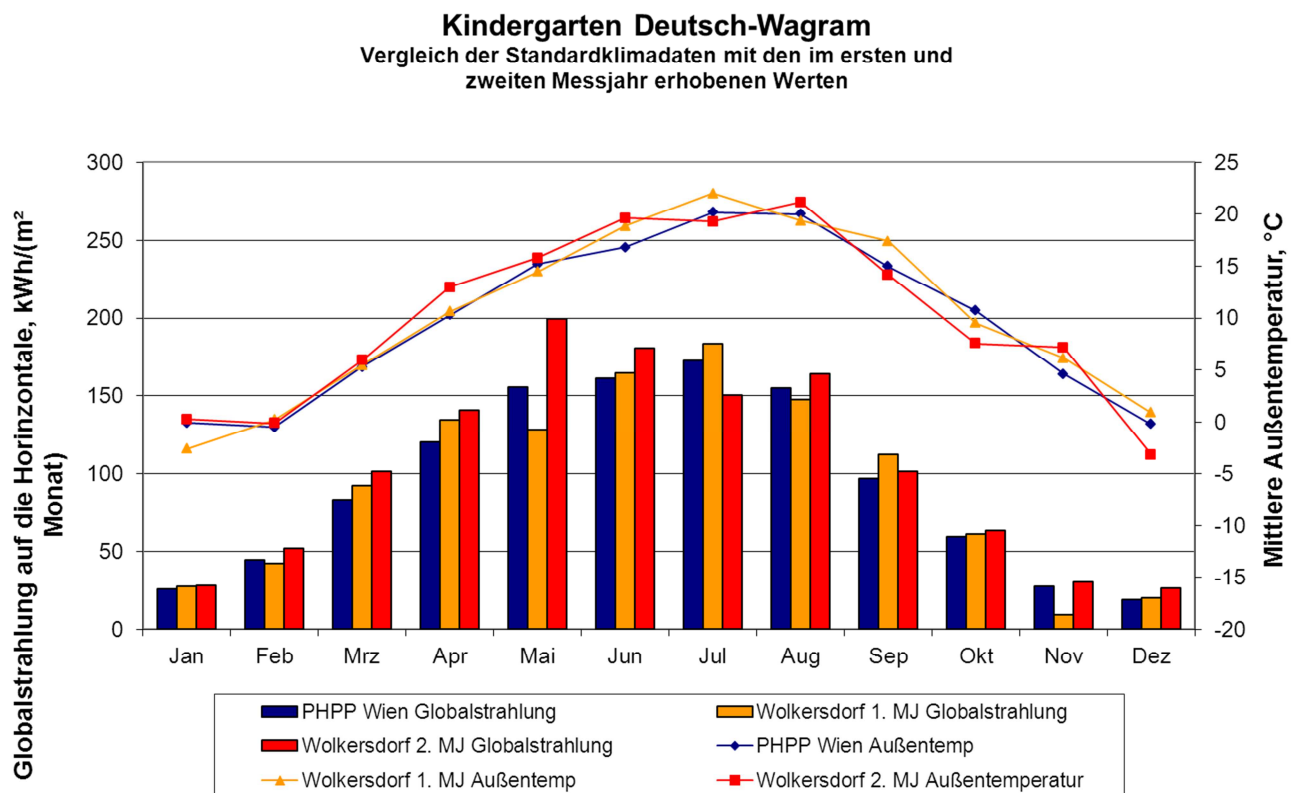


Abbildung 8: Vergleich der Klimadaten der Messstation Wolkersdorf (ca. 10 km nördlich von Deutsch-Wagram) mit den Standardklimadaten Wien [PEP] (Quelle der Messdaten Wolkersdorf: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG))

5.3 Komfortparameter

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen den Verlauf der Stundenmittelwerte der Raumtemperaturen über der Außentemperatur.

Es wurden nur Werte während der Betriebszeit von Montag bis Freitag von 7 bis 16 Uhr berücksichtigt.

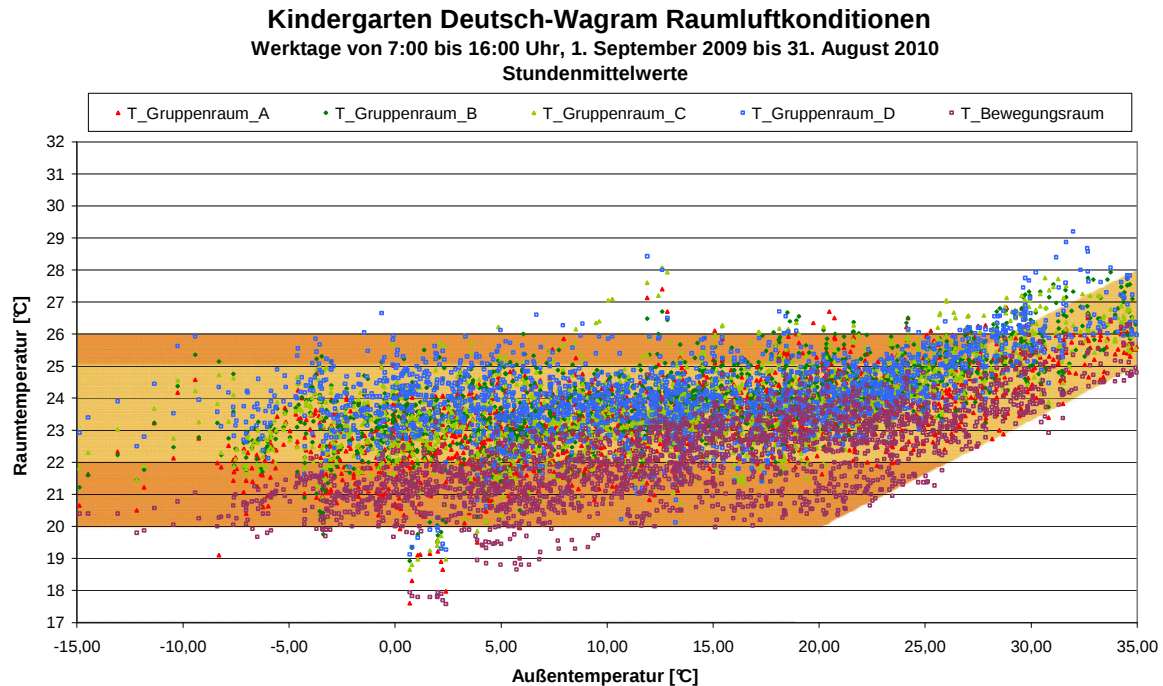


Abbildung 9: Raumtemperatur über Außentemperatur [Darstellung nach DIN 1946-2]

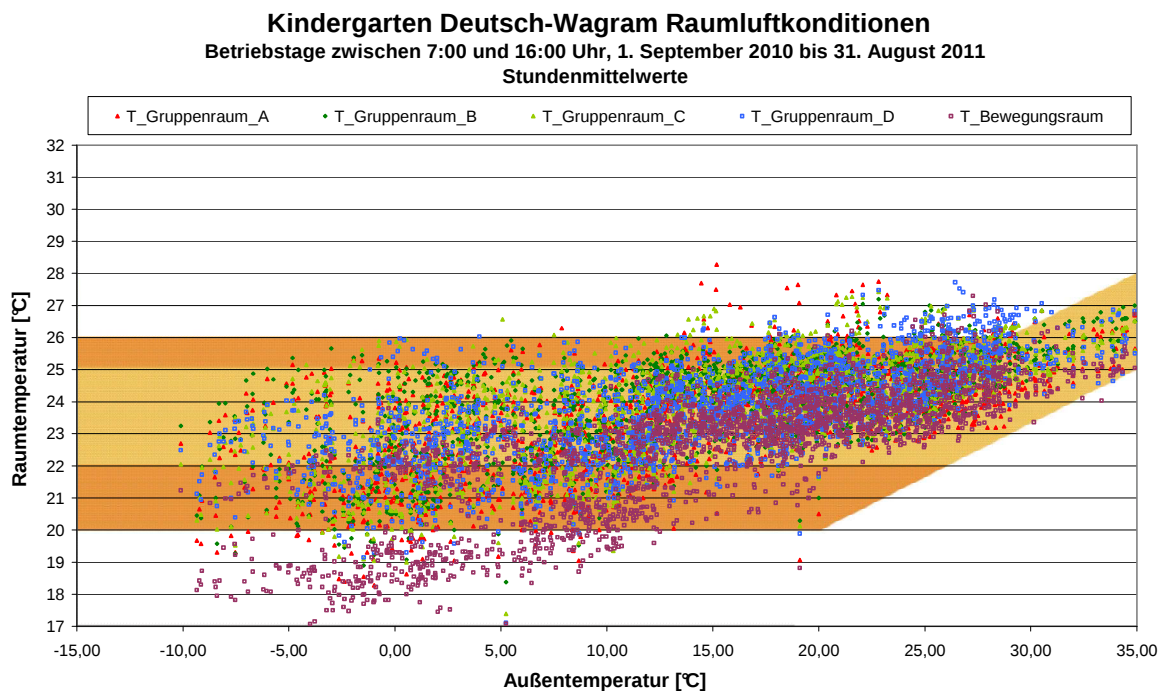


Abbildung 10: Raumtemperatur über Außentemperatur [Darstellung nach DIN 1946-2]

Die Raumtemperaturen in den einzelnen Gruppenräumen liegen im ersten Messjahr (1.September 2009 – 31.August 2010) größtenteils im komfortablen Bereich nach DIN 1946-2. Auch bei höheren Außentemperaturen treten selten Raumtemperaturen über 26°C auf. Die Temperaturen im Bewegungsraum liegen durchschnittlich um ca. 2°C tiefer.

Im zweiten Messjahr (1.September 2010 – 31.8.2011) lag die Raumtemperatur in den Gruppenräumen zu Beginn der Heizperiode mehrfach unter den geforderten 22°C für Kindergärten. Dies war größtenteils auf einen Ausfall der Wärmepumpe zurückzuführen. Durch Änderung der Laufzeiten der Wärmepumpe und die Anhebung der Leistung der Wandheizung wurde diese Unterschreitung der behaglichen Raumtemperatur behoben.

In Abbildung 11 und Abbildung 12 wird der geordnete Temperaturverlauf dargestellt. Die Raumtemperaturen der Gruppenräume A, B, C und D liegen im ersten Messjahr mit einer Häufigkeit von 1,2 %, 4,2 %, 5 % und 5,9% über 26°C, die Temperaturen des Bewegungsraumes liegen mit einer Häufigkeit von nur 0,4 % über 26°C. Im zweiten Messjahr liegen die Häufigkeiten der Raumtemperaturen über 26°C in den Gruppenräumen bei 1,2 %, 4,4 %, 5,3 % und 5,7 % bzw. bei 0,3 % für den Bewegungsraum. Temperaturen unter 20°C treten in den Gruppenräumen nur in sehr geringem Ausmaß auf (Häufigkeiten unter 0,6 % im ersten Messjahr bzw. 0,7 % im zweiten Messjahr). Im Bewegungsraum liegt die Temperatur mit einer Häufigkeit von 2,8 % (erstes Messjahr) bzw. 3% (zweites Messjahr) unter 20°C.

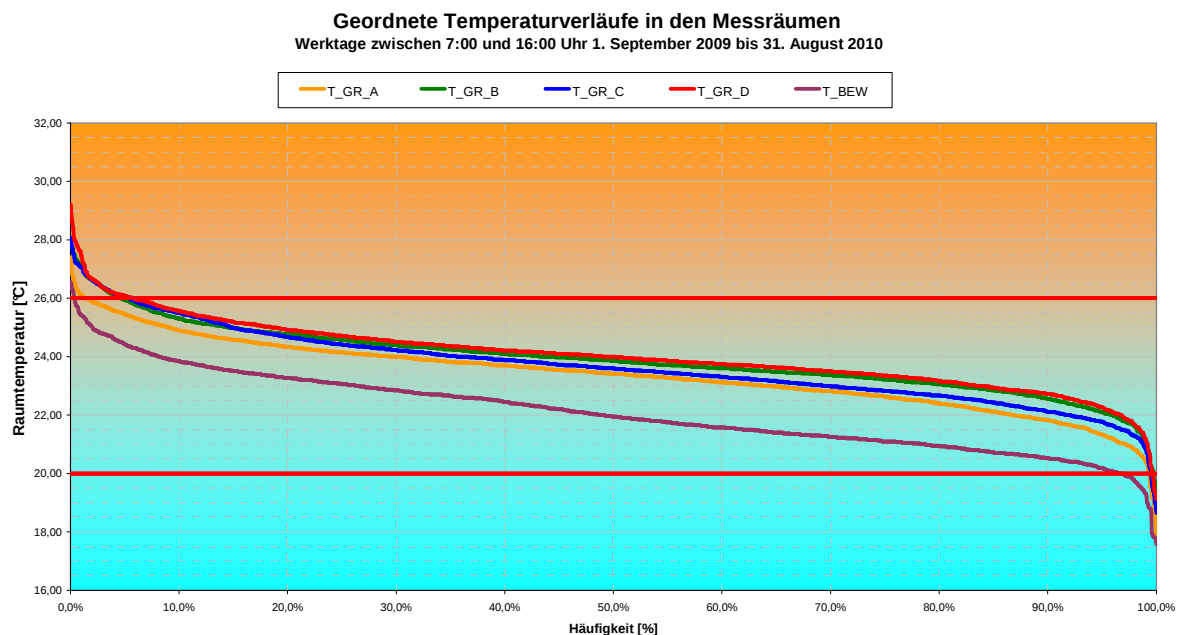


Abbildung 11: Geordneter Temperaturverlauf in den Messräumen

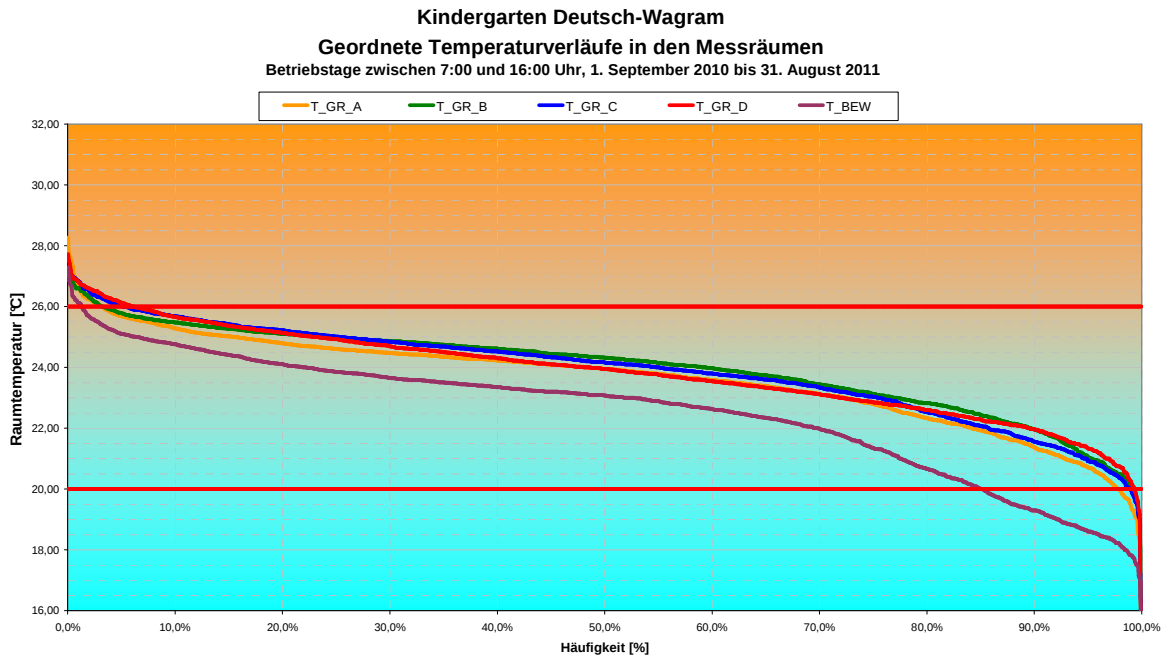


Abbildung 12: Geordneter Temperaturverlauf in den Messräumen

In einer kalten Woche im Winter 2010 bewegen sich die Raumtemperaturen zwischen 20°C und 25°C, wie Abbildung 13 zeigt. Sogar bei sehr tiefen Außentemperaturen von -15°C sinken die Raumtemperaturen der Gruppenräume nicht unter 20°C. Im Bewegungsraum sinkt die Temperatur nur einmal unter 20°C. In Abbildung 13 ist auch deutlich der Zusammenhang zwischen solarer Einstrahlung über die Glasflächen und Erhöhung der Raumtemperatur zu sehen.

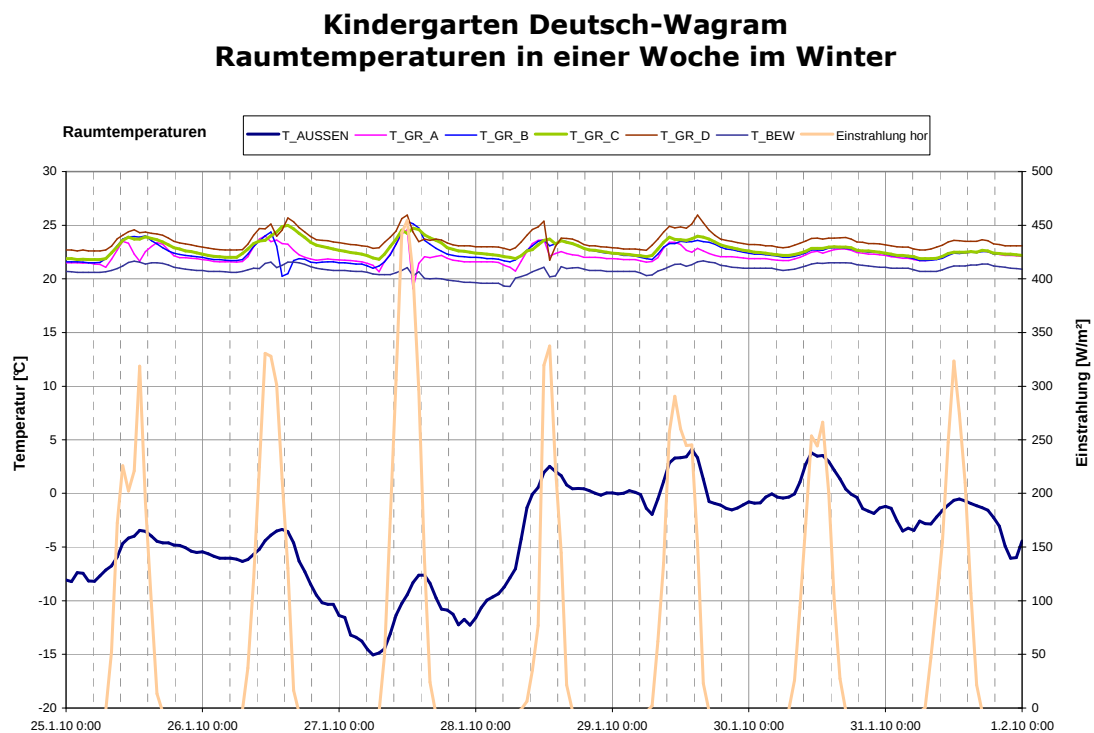


Abbildung 13: Raumtemperaturen, Außentemperatur und Globalstrahlung in einer kalten Woche im Jänner 2010

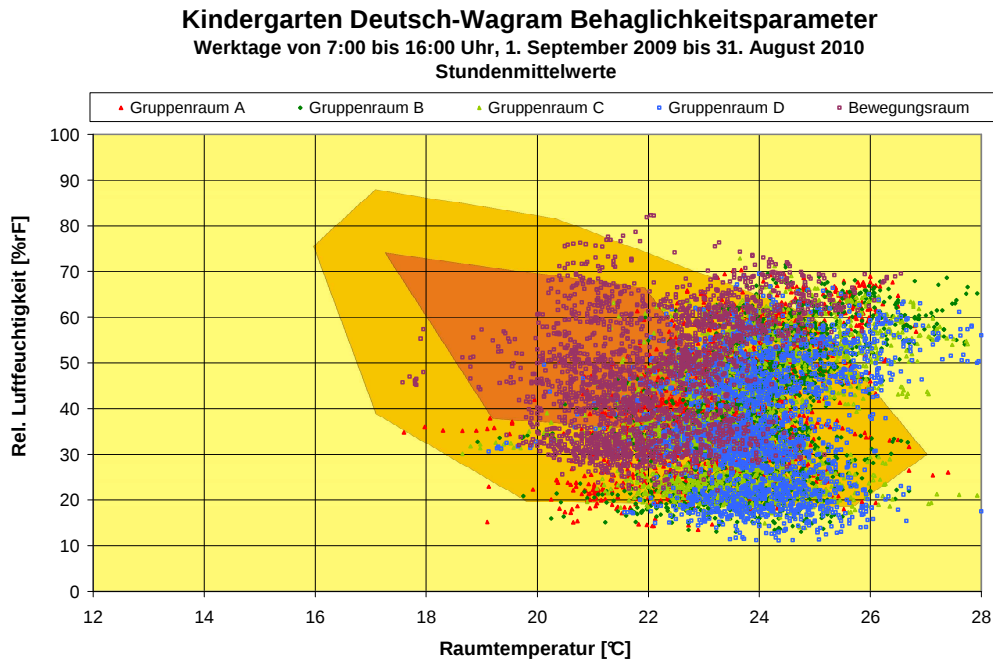


Abbildung 14: Behaglichkeitsparameter Rel. Luftfeuchtigkeit über Raumtemperatur [Darstellung nach Leusden und Freymark]

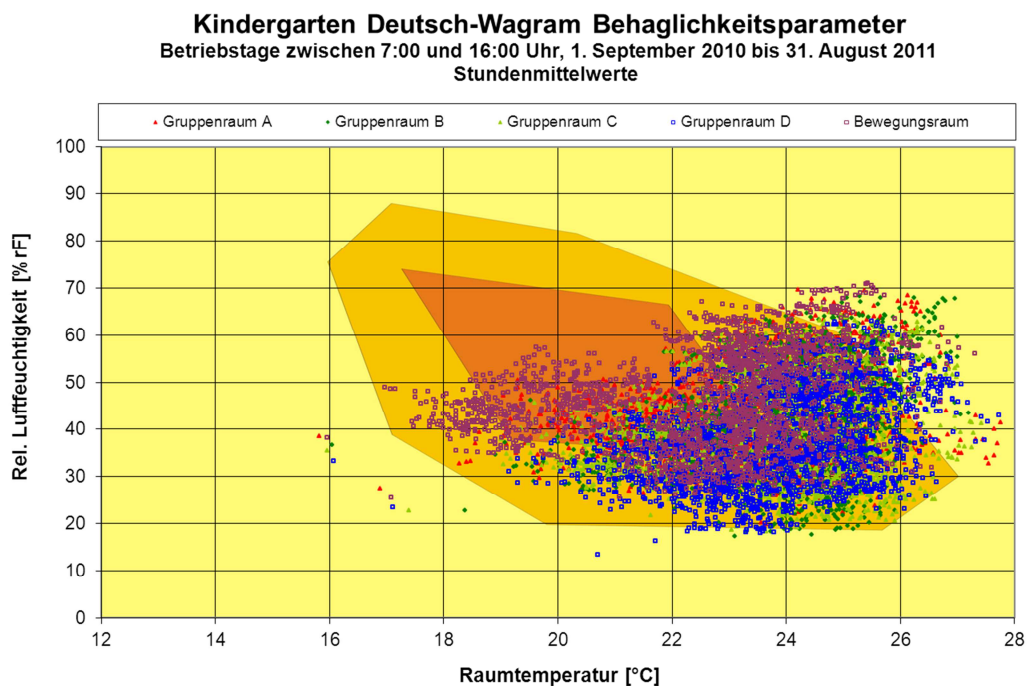


Abbildung 15: Behaglichkeitsparameter Rel. Luftfeuchtigkeit über Raumtemperatur [Darstellung nach Leusden und Freymark]

Abbildung 14 und Abbildung 15 stellen das Behaglichkeitsfeld Raumluftheuchtigkeit über der Raumtemperatur nach Leusden und Freymark dar. Hierbei wird die Luftfeuchtigkeit über der Raumtemperatur aufgetragen. Der Großteil der Messwerte befindet sich innerhalb des Behaglichkeitsfeldes, im Sommer treten zum Teil Raumtemperaturen und Feuchtigkeitswerte auf, die als schwül empfunden werden können. Dies kann durch Nachtlüftung jedoch weiter verbessert werden. Im zweiten Messjahr verbesserte sich die

Behaglichkeit in Bezug auf die rel. Luftfeuchte, Werte unter 20 % rF traten praktisch nicht mehr auf. Die Raumluftheuchte in den Gruppenräumen liegt im ersten Messjahr mit einer Häufigkeit von 19,5 % (Gruppenraum A) bis 36,5 % (Gruppenraum D) unter der in DIN 1946 Teil 2 definierten unteren Grenze von 30 % relativer Raumluftheuchte. Dies lässt auf einen hohen Luftwechsel in den Gruppenräumen schließen. Im zweiten Messjahr verbessern sich die Werte für die Häufigkeiten der rel. Feuchte unter 30 % und liegen zwischen 6,3 % (Gruppenraum A) und 27,8 % (Gruppenraum D), was ein Hinweis darauf ist, dass die getroffenen Maßnahmen wie die Reduzierung des Luftvolmenstroms eine positive Wirkung zeigen.

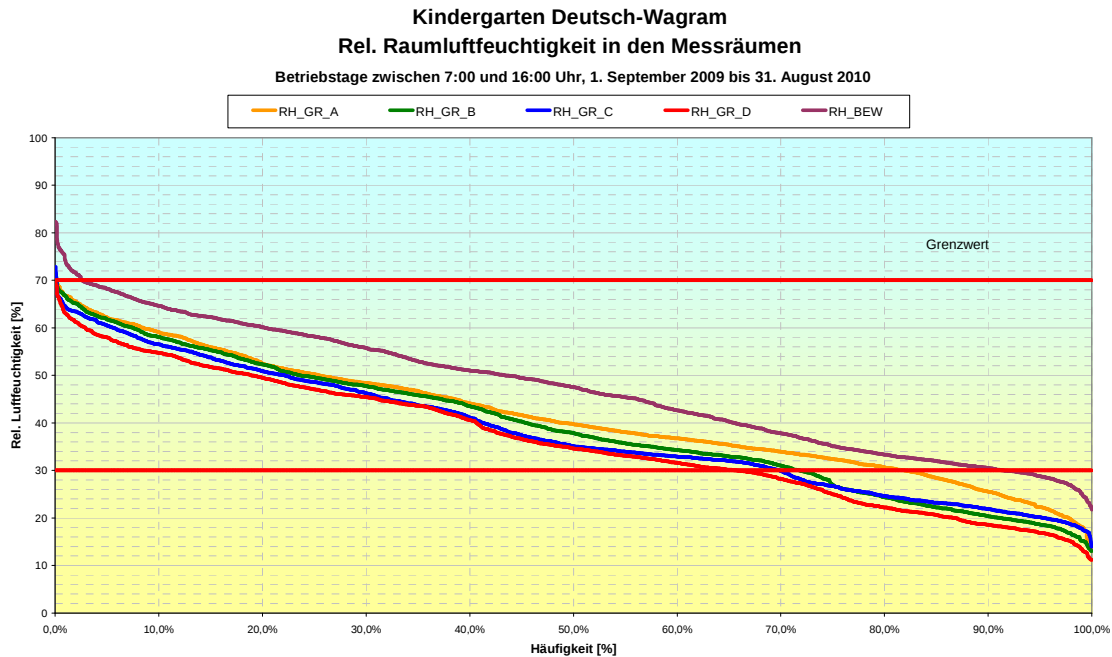


Abbildung 16: Geordnete Raumluftheuchte in den Messräumen, Montag bis Freitag

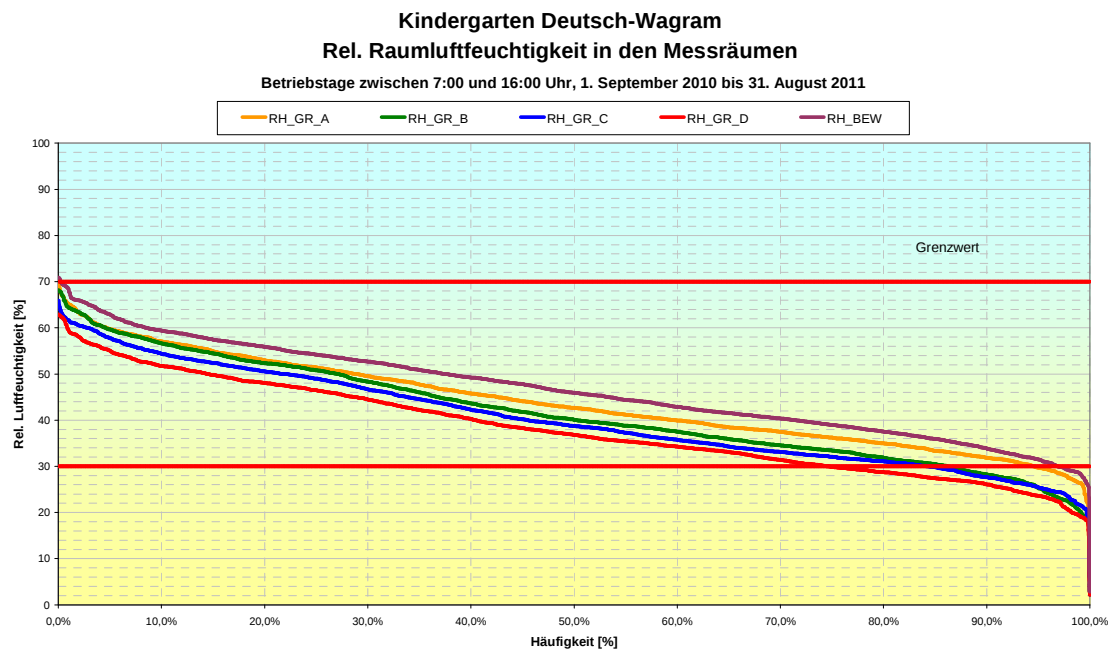


Abbildung 17: Geordnete Raumluftheuchte in den Messräumen, Montag bis Freitag

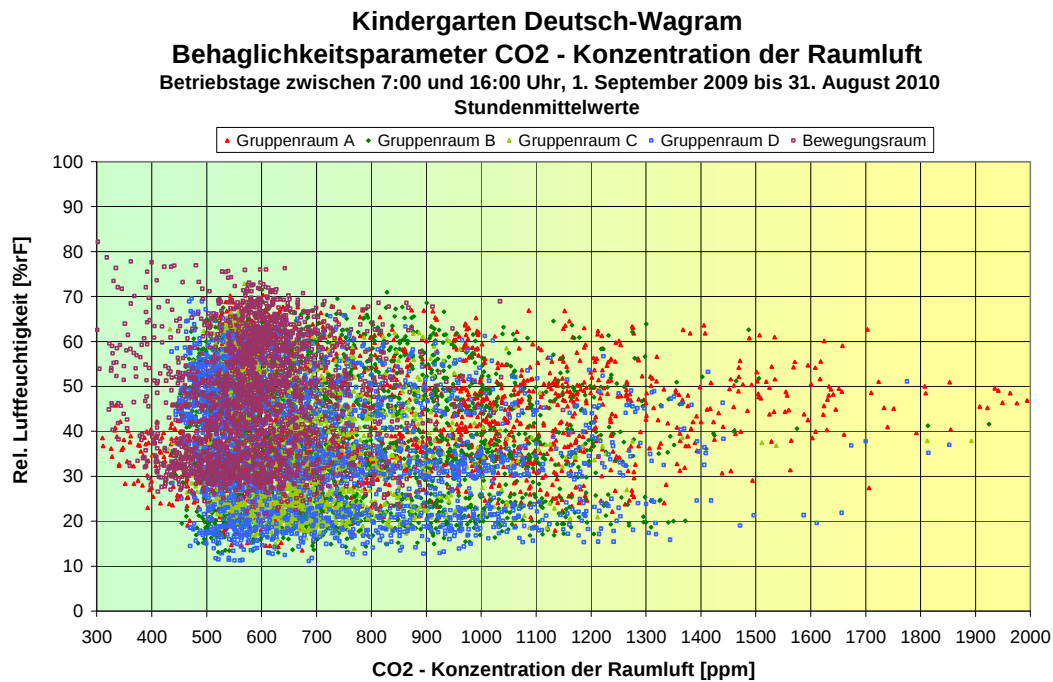


Abbildung 18: Verteilung der CO₂ - Konzentration in der Raumluft für das erste Messjahr Montag bis Freitag als Stundenmittelwerte

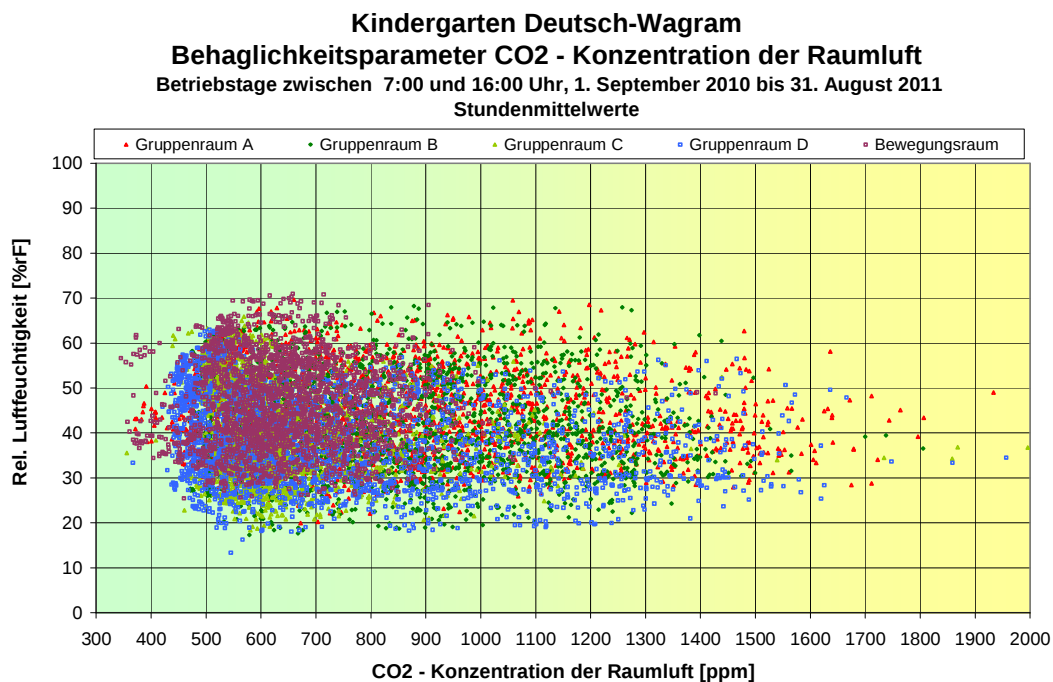


Abbildung 19: Verteilung der CO₂ - Konzentration in der Raumluft für das zweite Messjahr, Montag bis Freitag als Stundenmittelwerte

In Abbildung 18 und Abbildung 19 ist die Raumfeuchte über der CO₂ - Konzentration für das erste und das zweite Messjahr aufgetragen. Die CO₂ - Konzentration liegt im Kindergarten Deutsch-Wagram größtenteils unter dem Grenzwert nach DIN 1946-2 (1500 ppm), was ein sehr gutes Ergebnis für vergleichbare Einrichtungen darstellt. Weiter unten wird noch näher auf die prozentuale Verteilung der Messwerte auf die Raumluftklassen nach EN 13779 eingegangen.

In der folgenden Abbildung wird der Tagesverlauf der CO₂ - Konzentration für die Woche von 23. 11. 2009 bis 27.11.2009 dargestellt. Der erhöhte Wert am Montag (23.11.2009) rührt aus der Tatsache, dass die Lüftungsanlage an diesem Tag mit erheblich reduzierter Luftmenge betrieben wurde. Die Raumtemperaturen in diesem Zeitraum bewegen sich zwischen 21°C und 25°C (Abbildung 21). Durch Fensterlüftung sinken die Raumtemperatur und die CO₂ - Konzentration abrupt, in Abbildung 20 und Abbildung 21 für den Gruppenraum D am 24.11.2009 deutlich erkennbar.

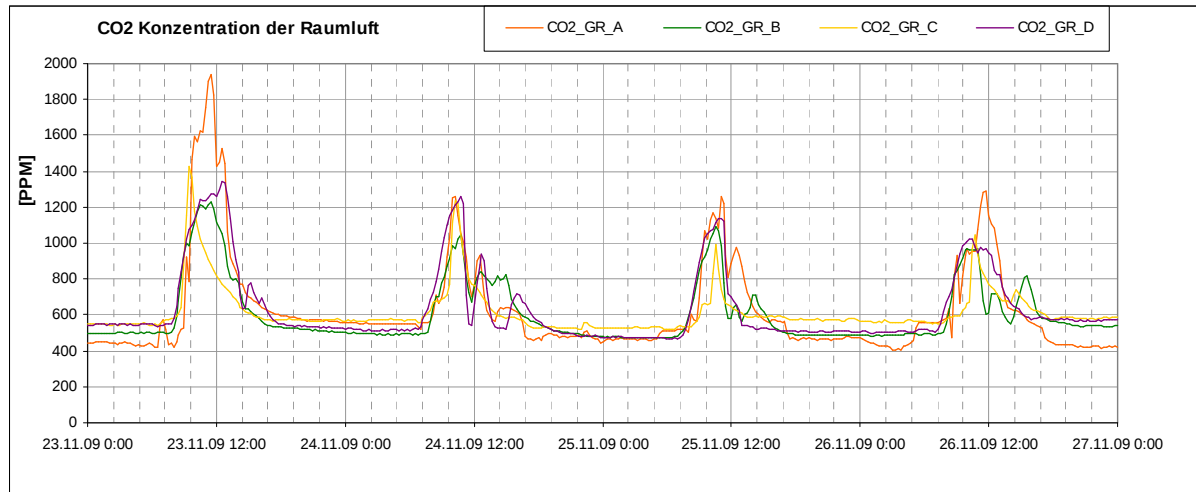


Abbildung 20: Tagesverlauf der CO₂ - Konzentration von Montag bis Freitag, 23. November 2009 bis 27. November 2009

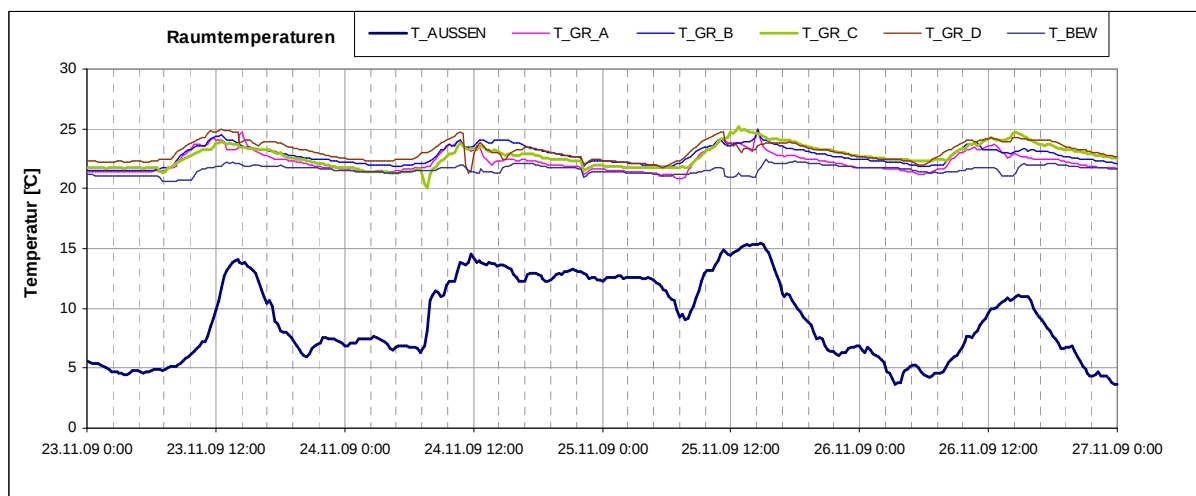


Abbildung 21: Tagesverlauf der Raumtemperaturen von Montag bis Freitag, 23. November 2009 bis 27. November 2009)

Die Kategorisierung der Raumluft nach EN 13779 (Tabelle 5) erfolgt in Raumluftklassen. IDA (indoor air quality) bezeichnet die CO₂-Konzentration der Innenraumluft über der CO₂ - Konzentration der Außenluft, wobei die CO₂-Konzentration der Außenluft bei etwa 500 ppm liegt. In der Tabelle ist zusätzlich angegeben, wieviel Prozent der in den Gruppenräumen und dem Bewegungsraum während der Betriebszeiten gemessenen Werte in den einzelnen Raumluftklassen liegen. Für die Berechnung wurden die gemessenen CO₂ - Konzentrationen der Zuluft herangezogen. 84 % der Werte liegen in den Raumluftklasse IDA 1 und IDA 2, die Raumluftqualität kann demzufolge als sehr gut angesehen werden.

Tabelle 5: Kategorisierung der Raumlufthqualität nach EN 13779: CO₂ – Konzentration der Raumlufth über der CO₂ – Konzentration der Außenluft in ppm

Raumlufthklasse in ppm über der CO₂- Konzentration der Außenluft	Bemerkung	% Anteil im Kindergar- ten Deutsch-Wagram (zweites Messjahr)
IDA 1 ≤ 400 ppm	Hohe Raumlufthqualität	69 %
IDA 2 ≤ 600 ppm	Mittlere Raumlufthquali- tät	15 %
IDA 3 ≤ 1000 ppm	Mäßige Raumlufthquali- tät	14 %
IDA 4 > 1000 ppm	Niedrige Raumlufthquali- tät	2 %

Betrachtet man die einzelnen Gruppenräume, so liegt der Anteil an Werten über 1500 ppm (entspricht etwa IDA 4 niedrige Raumlufthqualität) im ersten Messjahr zwischen 0,2 % (Gruppenraum B und C) und 3,2 % (Gruppenraum A), im zweiten Messjahr zwischen 0,3 % (Gruppenraum C) und 2,4 % (Gruppenraum A), ist also sehr gering (Abbildung 22 und Abbildung 23).

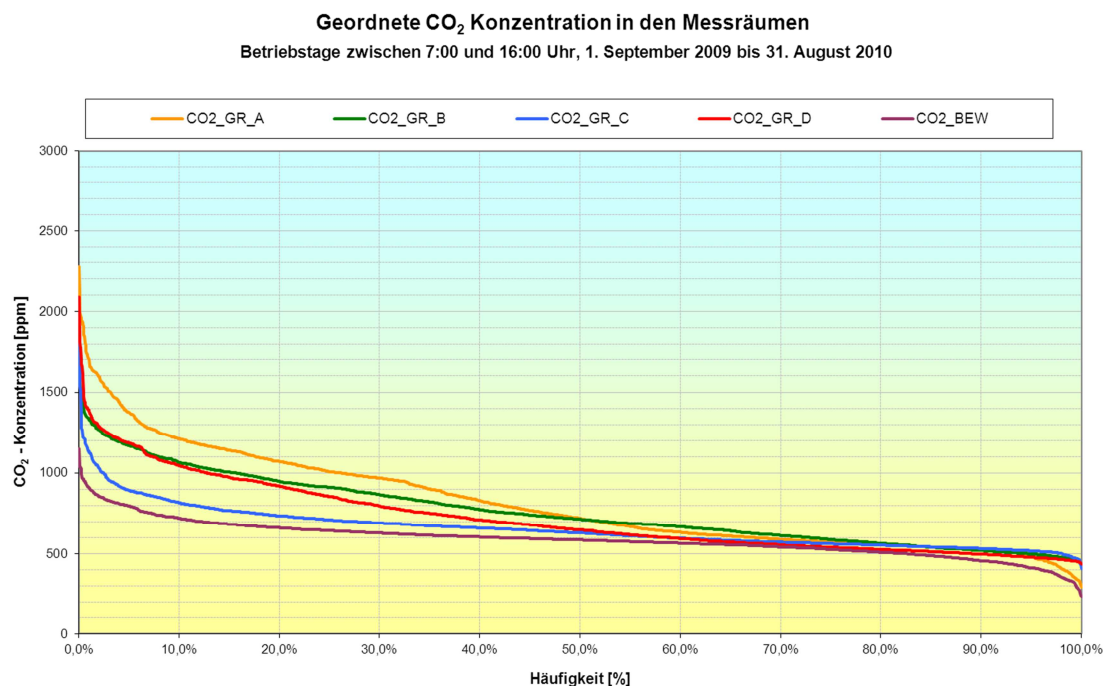


Abbildung 22: Geordnete CO₂-Konzentration in den Messräumen

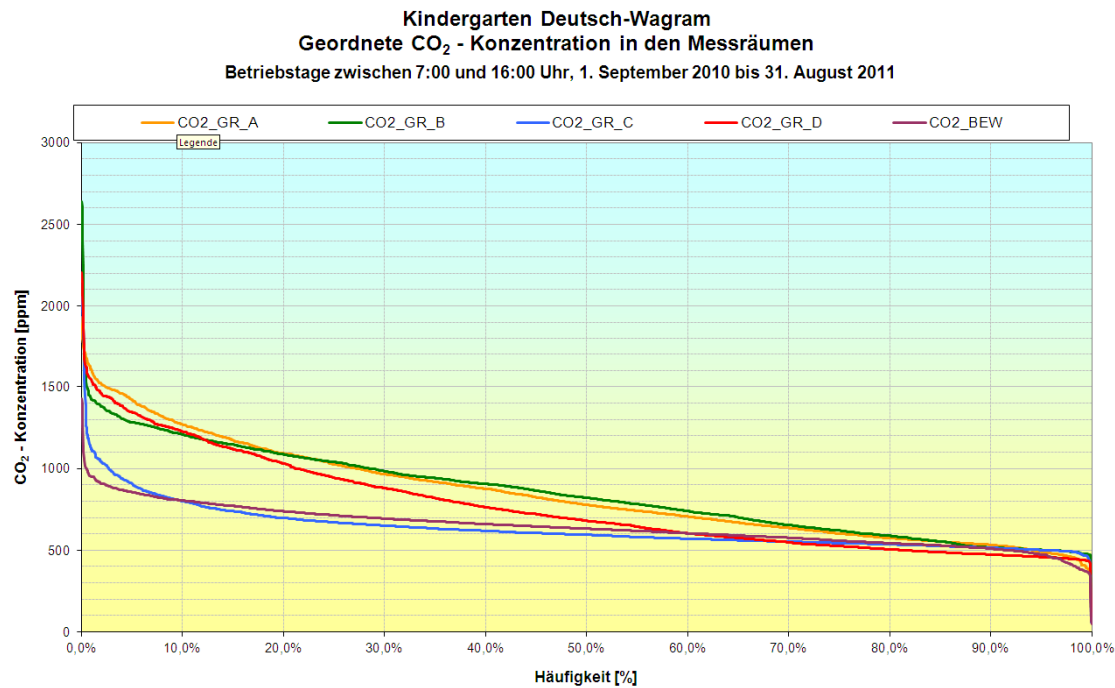


Abbildung 23: Geordnete CO₂-Konzentration in den Messräumen

Abbildung 24 und Abbildung 25 geben einen Überblick über die Komfortparameter des Kindergarten Deutsch-Wagram im ersten und zweiten Messjahr während der Betriebszeiten. Die Stundenwerte der Raumtemperaturen wurden über alle Messräume gemittelt und die Anzahl der Stunden über 26°C bzw. unter 20°C nach dem Raumverfahren ermittelt. In diesem Verfahren wird die Überschreitung der Grenztemperatur jedes einzelnen Raumes für die Mittelwertbildung berücksichtigt.

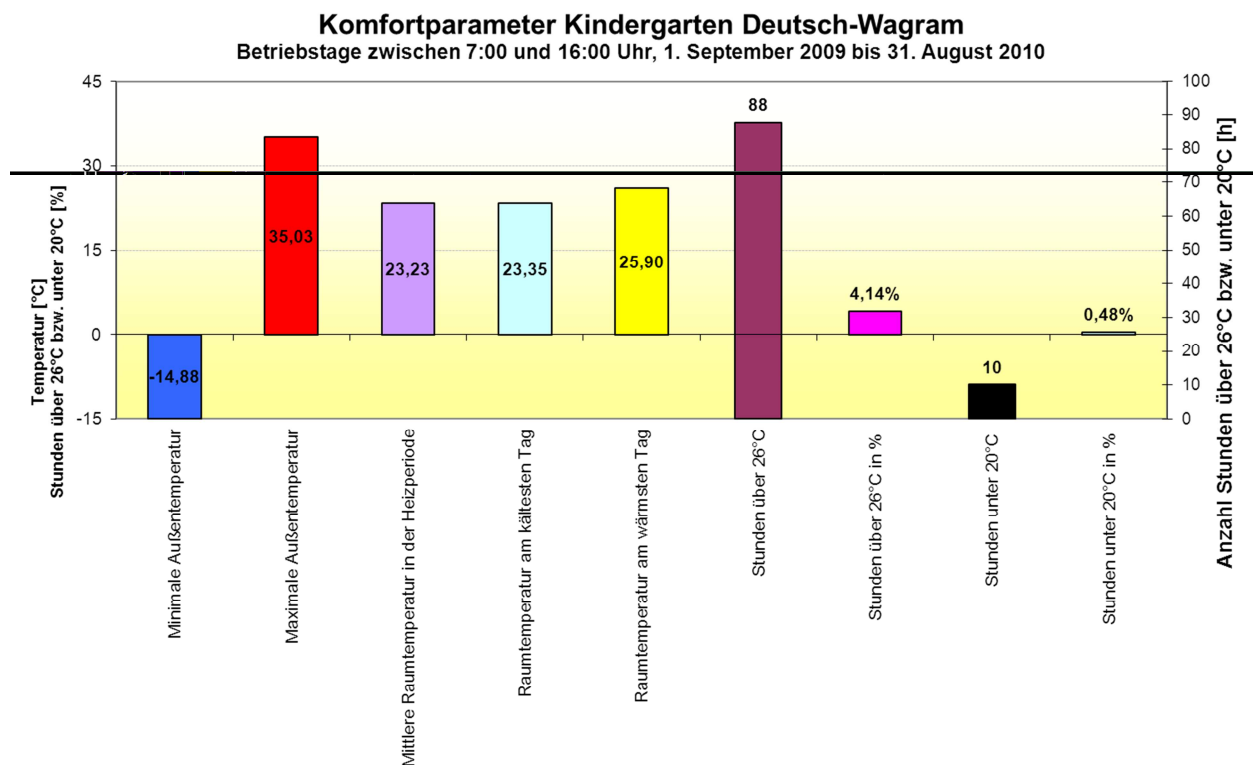


Abbildung 24: Komfortparameter

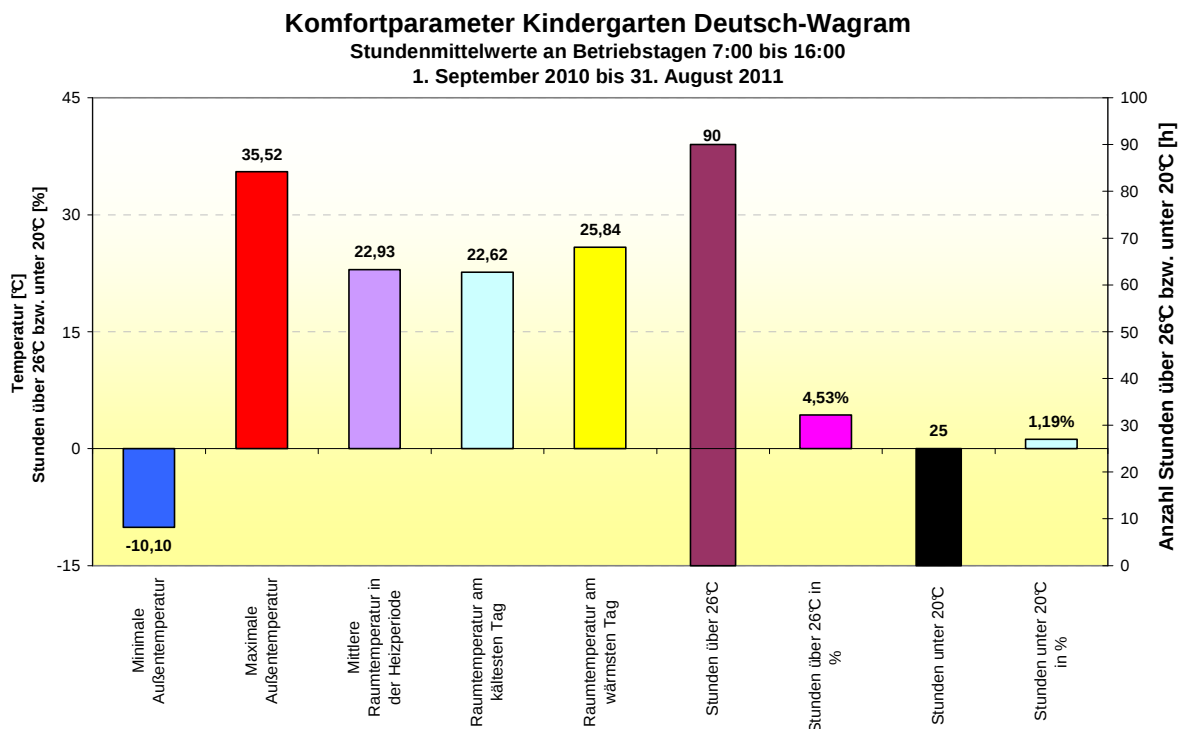


Abbildung 25: Komfortparameter

Betrachtet man die einzelnen Gruppenräume (Abbildung 26 und Abbildung 27), so zeigt sich, dass in Gruppenraum A im ersten Messjahr die Überschreitung der Temperaturgrenze von 26°C mit 25 Stunden sehr gering ist. Dieser Gruppenraum ist in Richtung Südwest ausgerichtet. Gruppenraum D liegt im Südosten des Gebäudes und weist mit 120 Stunden die größte Anzahl von Stunden über 26°C auf.

Im zweiten Messjahr weisen die beiden Gruppenräume A und B etwa halb so viele Stunden über 26°C auf wie Gruppenraum D, der mit 122 h über dem Wert des ersten Messjahres liegt. Der größte Anteil der Stunden über 26°C liegt im zweiten Messjahr im August bzw. im Gruppenraum D auch im September. Hier wirkt sich die in der Übergangszeit bereits tiefer stehende Sonne aus.

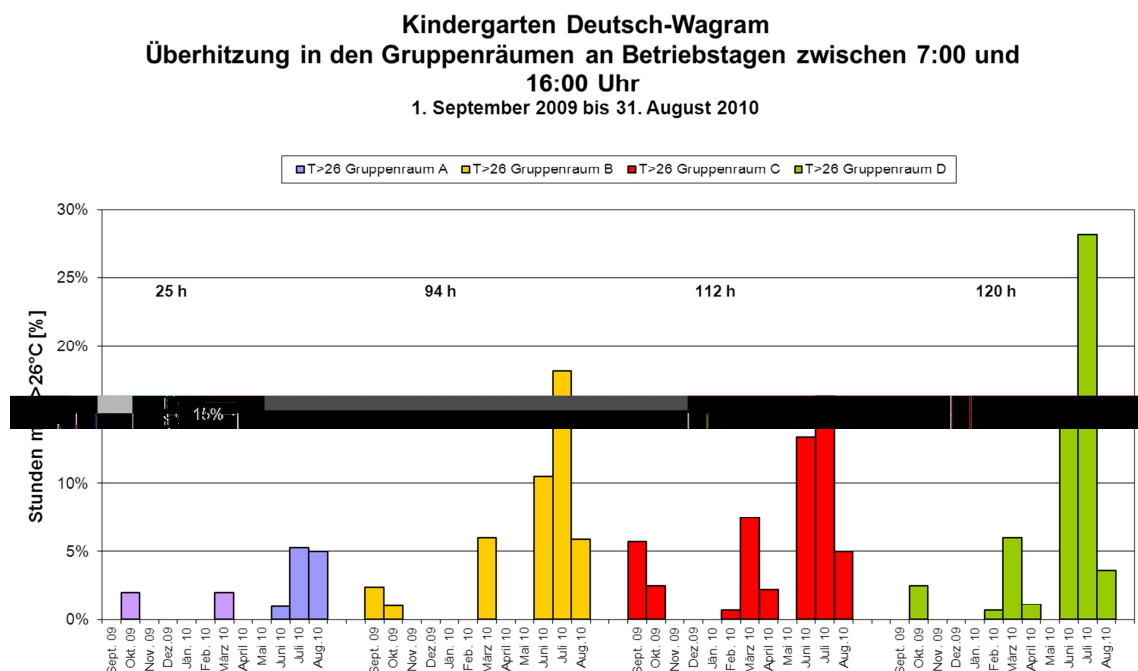


Abbildung 26: Temperatur über 26°C in den einzelnen Gruppenräumen

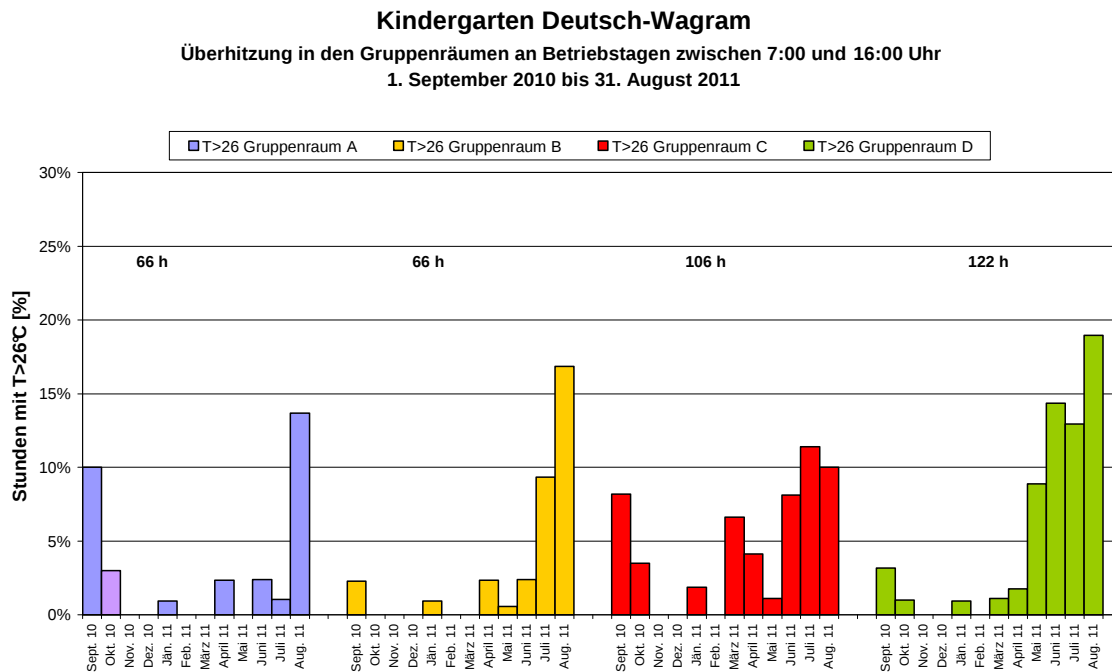


Abbildung 27: Temperatur über 26°C in den einzelnen Gruppenräumen

5.4 Energiebilanz

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe sowie der Wärmeeintrag durch die Solaranlage stellen den Input dar, die Energie für das Nachheizregister der Lüftungsanlage, die Energie für Wandheizung und Heizkörper sowie Brauchwarmwasserbereitung und Zirkulation stellen den Output dar (siehe auch das Messtechnikschema in Kapitel 4.4). Die Speicherverluste wurden nach folgender Formel ermittelt:

$$Q_{\text{Speicherverluste}} = 0,16 * \sqrt{V_{\text{Speicher}}} * 0,75 * \left(\frac{T_{\text{Speicher_oben}} + T_{\text{Speicher_unten}}}{2} - 20 \right) * 24/1000 \text{ [kWh/d]}$$

Diese Formel wurde in Task 26 des Solar Heating and Cooling Programmes der Internationalen Energieagentur entwickelt [IEA SHC Task 26]. Um die Anschlussverluste zu berücksichtigen wurden die Speicherverluste mit dem Faktor 2 multipliziert.

Da die Einstellung der Wärmepumpe im September 2010 verändert wurde, wird der September 2010 dem ersten Messzeitraum zugerechnet. Die monatliche Energiebilanz wird ebenso wie die Jahresenergiebilanz und der Stromverbrauch demzufolge für die Messzeiträume Oktober 2009 – September 2010 und Oktober 2010 – September 2011 betrachtet.

In Abbildung 28 wurden zusätzlich zur Darstellung der monatlichen Energiebilanz zwei Arbeitszahlen der Wärmepumpe eingetragen, einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung des Energieverbrauchs der Grundwasserpumpe. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe ohne Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Grundwasserpumpe liegt zwischen 1,6 im Oktober 2009 und 3,9 im Jänner 2010. Im Jahresmittel beträgt die Arbeitszahl 2,7. Unter Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Grundwasserpumpe liegen die Werte der Arbeitszahl zwischen 0,11 im Juli 2010 und 2,20 im Jänner 2010. Im Jahresmittel beträgt die Arbeitszahl 1,3.

Im Dezember und Jänner ist der solare Eintrag in den Speicher sehr gering, die Energieversorgung erfolgt beinahe ausschließlich über die Wärmepumpe. Der Anteil der Heizkörper und Wandheizung an der Wärmeeinbringung beträgt im Oktober, November und Dezember 2009 über 50 %, von Jänner bis Mai 2010 erfolgt der größte Teil der Wärmeeinbringung über die Lüftung.

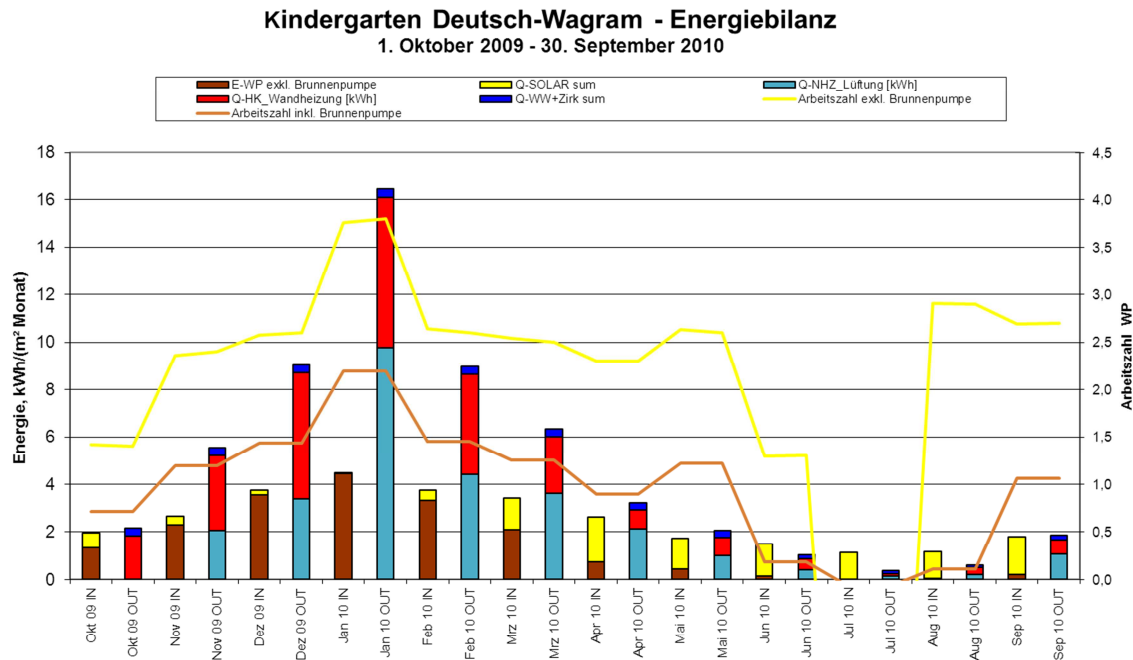


Abbildung 28: Energiebilanz für den Kindergarten Deutsch-Wagram

Im zweiten Messjahr konnte der Energieverbrauch massiv gesenkt werden. Dies wurde durch Maßnahmen wie die Änderung der Schaltungszeiten der Wärmepumpe, Änderung der Laufzeiten der Zirkulation, Änderung der Laufzeiten der Lüftungsanlage, Verringerung des Volumenstroms sowie Änderung des Schaltzeitpunktes der Vorheizung der Lüftungsanlage von 20°C auf 15°C erreicht, aber auch durch Beseitigung der Fehlfunktion der Oberlichten, die sich nicht ordnungsgemäß geschlossen hatten. Der Anteil der Heizung über die Lüftungsanlage nahm stark ab, das heißt die Heizleistung wurde größtenteils über Wandheizung und Heizkörper eingebracht. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe ohne Berücksichtigung der Grundwasserpumpe verbesserte sich im Jahresmittel auf 3,7. Unter Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Grundwasserpumpe lag sie bei 1,8. (Abbildung 29), allerdings dient die Grundwasserpumpe auch für die Luftvorwärmung bzw. Luftvorkühlung. Dieser Stromverbrauch geht ebenfalls in die Arbeitszahl inkl. Brunnenpumpe mit ein.

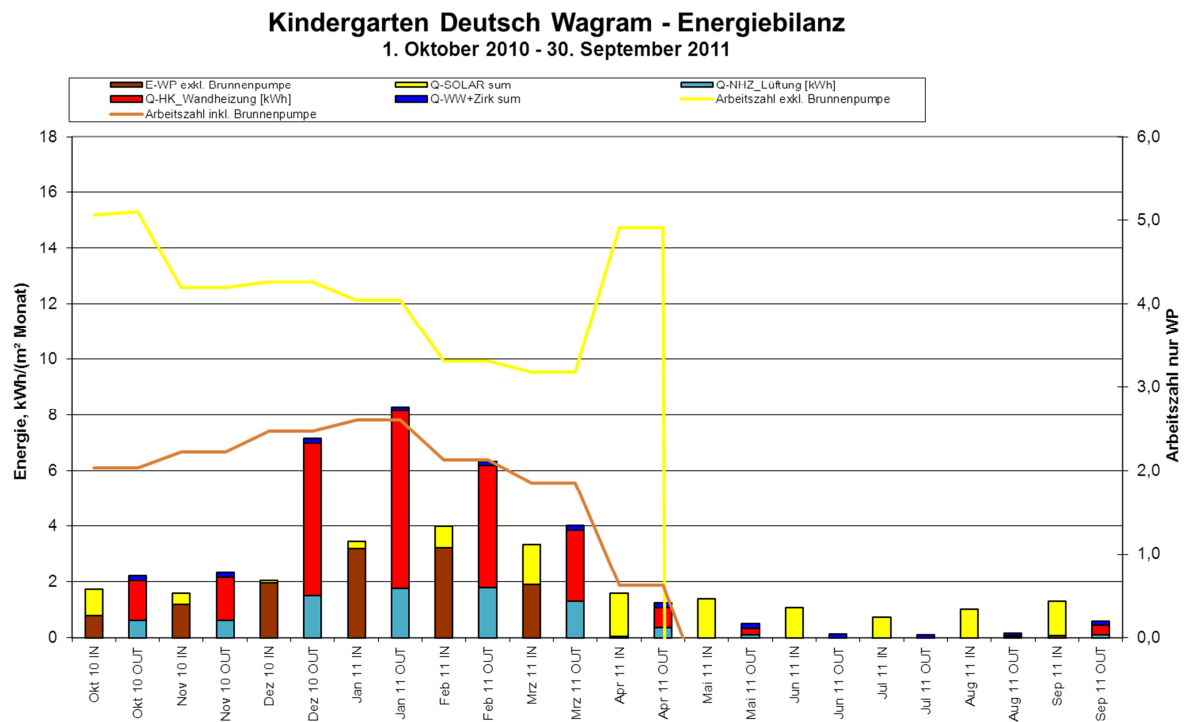


Abbildung 29: Energiebilanz für den Kindergarten Deutsch-Wagram

Die folgenden Darstellungen des Heiz-, End- und Primärenergieverbrauchs zeigen die äußerst positive Entwicklung des Energieverbrauchs ebenfalls sehr deutlich.

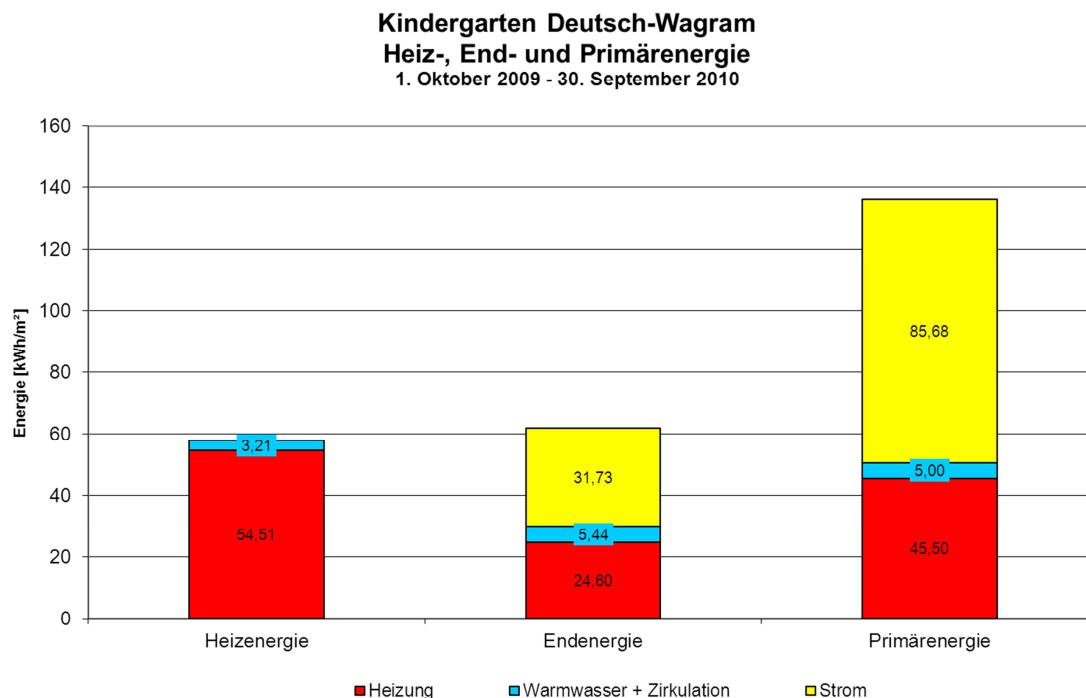


Abbildung 30: Heiz-, End- und Primärenergieeinsatz Kindergarten Deutsch-Wagram

Der Heizwärmeverbrauch im Kindergarten Deutsch-Wagram war mit 54,51 kWh/m²a im ersten Messjahr relativ hoch. Etwa die Hälfte der Heizenergie (26,2 kWh/m²a) wurde über Heizkörper und Flächenheizungen eingebracht, die andere Hälfte (28,27 kWh/m²)

über das Nachheizregister der Lüftungsanlage. Der Energieverbrauch für Warmwasser und Zirkulation war mit 3,21 kWh/m²a sehr gering.

Der Endenergieeinsatz für Heizung betrug 24,60 kWh/m²a, der Endenergieeinsatz für Warmwasser und Zirkulation betrug 5,44 kWh/m²a. Die Endenergie für Heizung und Brauchwarmwasser wurde von der Wärmepumpe und der Solaranlage zur Verfügung gestellt, wobei der Stromverbrauch der Wärmepumpe 18,70 kWh/m²a betrug und der Solarertrag der thermischen Solaranlage 270 kWh/m²Kollektorfläche betrug. Der solare Anteil am Endenergieverbrauch für Warmwasser und Heizung betrug in diesem Messzeitraum 38 %. Der Stromverbrauch für Lüftung, Kochen und die Gruppenräume betrug 31,73 kWh/m²a.

Zur Umrechnung des Endenergieeinsatzes auf den Primärenergieeinsatz wurde ein Primärenergiefaktor für Strom von 2,7 (PHPP 2007) verwendet. Der Primärenergieeinsatz betrug 136,18 kWh/m²a.

Die Werte für Heiz-, End-, und Primärenergieeinsatzes beziehen sich auf die treated floor area (TFA) des Gebäudes (siehe auch Kapitel 4.2.1 Berechnung der Energiebezugsfläche treated floor area (TFA)).

Wie Abbildung 31 zeigt, beträgt der Heizenergieverbrauch im zweiten Messzeitraum 31,21 kWh/m²a, was einer Reduzierung um 43 % entspricht, der Energieverbrauch für Warmwasser und Zirkulation konnte beinahe halbiert werden, das heißt die Zirkulationsverluste wurden deutlich reduziert.

Im zweiten Messzeitraum konnte auch der solare Anteil an der Wärmeeinbringung auf 59 % gesteigert werden. Durch die bereits oben angesprochenen Maßnahmen ergibt sich ein wesentlich geringerer Stromverbrauch sowohl der Wärmepumpe, als auch der Grundwasserpumpe, was sich im Gesamtstromverbrauch deutlich bemerkbar macht. Im zweiten Messjahr lieferte die Photovoltaikanlage 17,65 kWh/m²TFA.

Sowohl die Endenergiebilanz als auch die Primärenergiebilanz zeigen im zweiten Messzeitraum mit 32,66 kWh/m²a Endenergieverbrauch und 58,83 kWh/m²a Primärenergieverbrauch ausgezeichnete Ergebnisse.

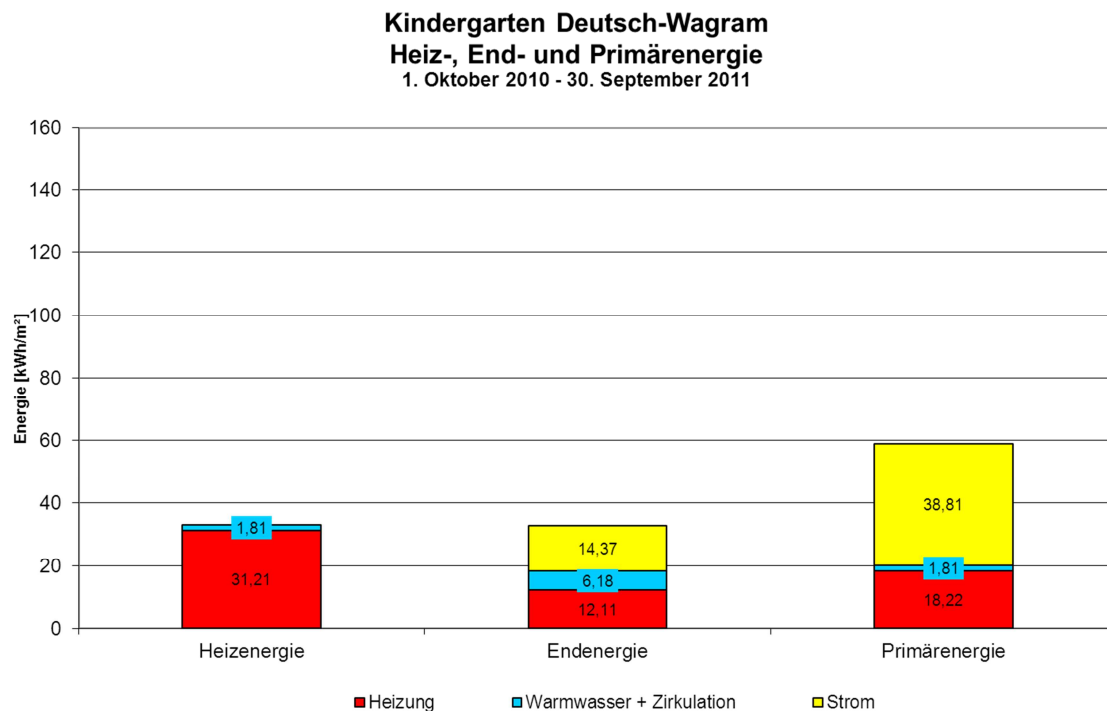


Abbildung 31: Heiz-, End- und Primärenergieeinsatz Kindergarten Deutsch-Wagram

In Abbildung 32 ist zusätzlich der Energieeintrag durch die Photovoltaikanlage dargestellt. Dieser beträgt 17,65 kWh/m²a, bezogen auf die treated floor area (TFA), was einer Jahresenergiemenge von 12.616 kWh/a entspricht.

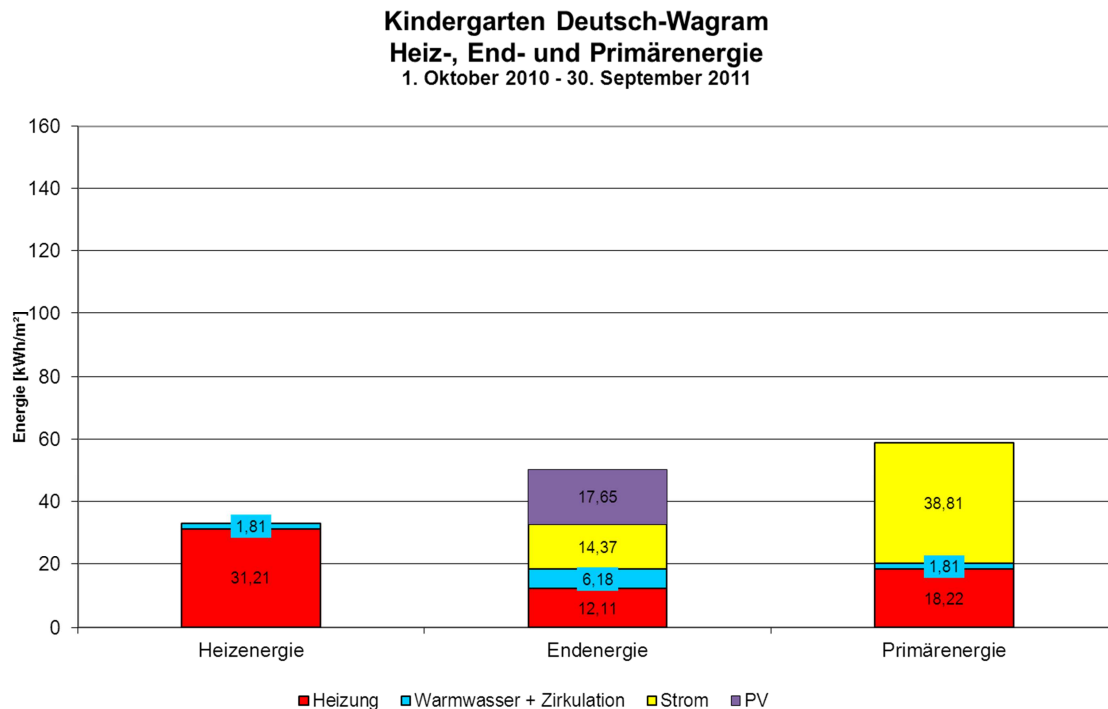


Abbildung 32: Heiz-, End- und Primärenergie mit Energieeintrag durch die Photovoltaikanlage

Bewertung des Heizwärmebedarfs

Bei der Bewertung des Heizwärmebedarfs (HWB) ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert bei den im jeweils betrachteten Messjahr vorliegenden Wetterbedingungen und Raumtemperaturen zustande kommt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde der Heizwärmebedarf auf 20°C Raumtemperatur umgerechnet.

Dafür wurde die durchschnittliche Raumtemperatur während der Heiztage der betrachteten Messperiode ermittelt und der Heizwärmebedarf bei 20° (mit den gemessenen Klimadaten), sowie bei der ermittelten Raumtemperatur (mit den gemessenen Klimadaten) mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) berechnet.

Das Verhältnis dieser beiden Werte wird dann zur Umrechnung des gemessenen Heizwärmebedarfs nach der folgenden Formel verwendet:

$$HWB_{20^{\circ}C} = HWB_{gemessen} \cdot \frac{HWB_{PHPP_Klima_gemessen_20^{\circ}C}}{HWB_{PHPP_Klima_gemessen_T_{gemessen}}}$$

In einem weiteren Schritt wird analog zur Raumtemperaturnormierung der Heizwärmebedarf auf Standardklimadaten normiert.

Zu diesem Zweck wird ein durchschnittlicher Norm-Klimadatensatz für Wien herangezogen, der im Rahmen des EU Projektes „Promotion of European Passive Houses“ (PEP) für die Verwendung im PHPP festgelegt wurde.

Mithilfe der Formel

$$HWB_{20^{\circ}C_Standard_Wien_PEP} = HWB_{20^{\circ}C} \cdot \frac{HWB_{PHPP_Standard_Wien_ (PEP) _ 20^{\circ}C}}{HWB_{PHPP_Klima_gemessen_ 20^{\circ}C}}$$

ergibt sich der auf 20°C Raumtemperatur und das Standardklima von Wien genormte Heizwärmebedarf. Durch die Normierung der gemessenen Daten auf einen Standardwetterdatensatz können in weiterer Folge unterschiedliche Gebäude in Österreich trotz unterschiedlicher Lage und unterschiedlicher Klimabedingungen miteinander verglichen werden.

Der temperatur- und klimabereinigte Heizwärmeverbrauch für das zweite Messjahr beträgt für den Kindergarten Deutsch-Wagram 26,8 kWh/m²a. Dieser Wert stellt einen sehr guten Wert dar, erreicht jedoch nicht den Passivhauskennwert von 15 kWh/m²a.

In Abbildung 33 sind die klimabereinigten Werte für das zweite Messjahr dargestellt. Der klimabereinigte Heizenergieverbrauch (Heizung und Warmwasser) beträgt 28,64 kWh/m²a, der klimabereinigte Endenergieverbrauch beträgt 31,72 kWh/m²a und der klimabereinigte Primärenergieverbrauch 58,27 kWh/m²a.

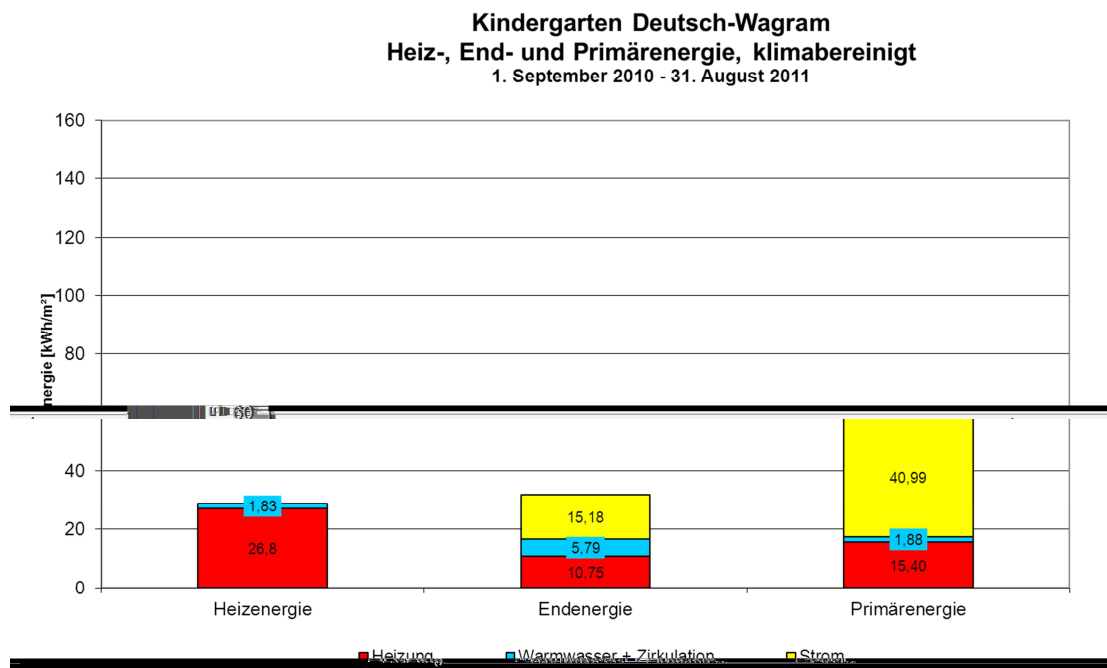


Abbildung 33: Heiz-, End- und Primärenergieeinsatz Kindergarten Deutsch-Wagram, klimabereinigt

Der Stromverbrauch trägt wesentlich zum Endenergie- und Primärenergieeinsatz bei und wird daher im folgenden Kapitel näher betrachtet. Die Energiebezugsfläche (siehe auch Kapitel 4.2.1 Berechnung der Energiebezugsfläche treated floor area (TFA)), auf die sich die spezifischen Stromverbräuche beziehen, beträgt 714,8 m².

5.5 Stromverbrauch

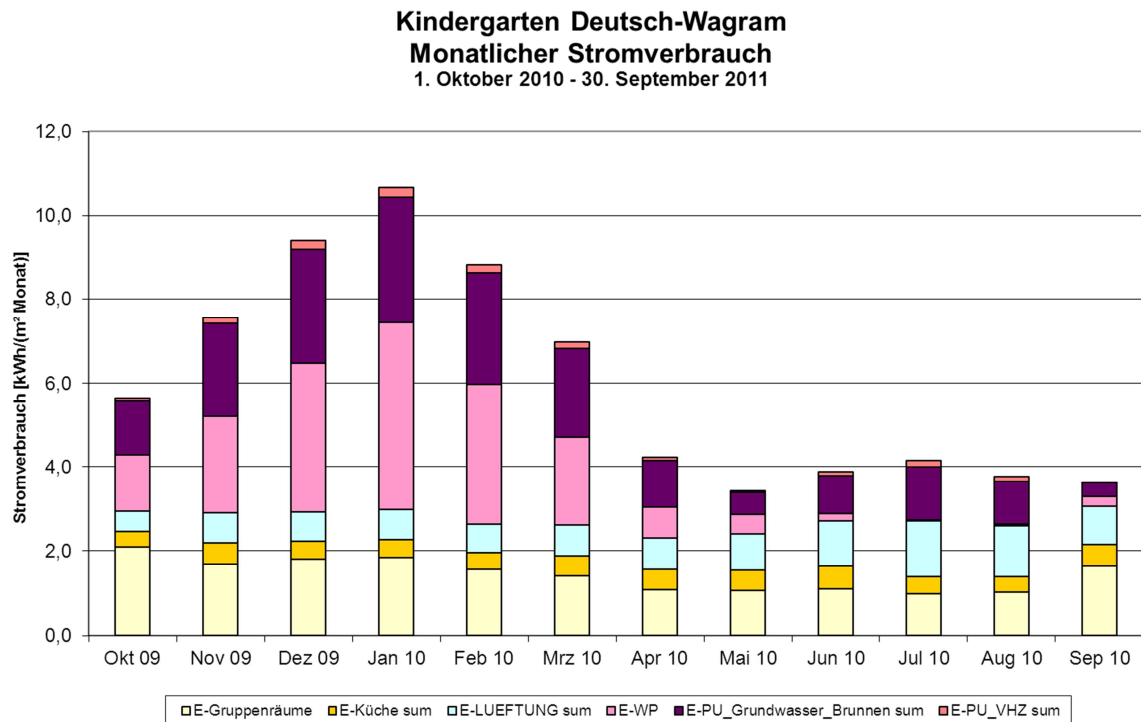


Abbildung 34: Monatlicher Stromverbrauch Kindergarten Deutsch-Wagram

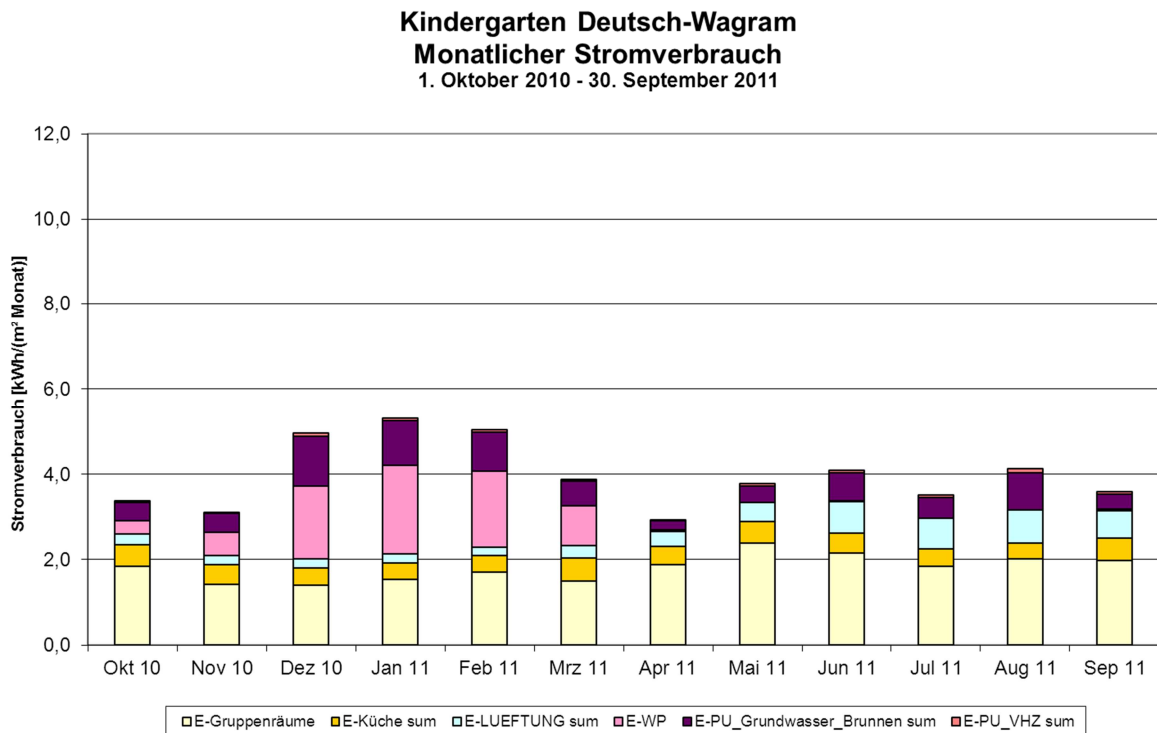


Abbildung 35: Monatlicher Stromverbrauch Kindergarten Deutsch-Wagram

Der spezifische Stromverbrauch für Kochen ist ziemlich konstant und beträgt zwischen 0,34 kWh/m²Monat und 0,56 kWh/m²Monat.

Der spezifische Lüftungsstromverbrauch beträgt im ersten Messzeitraum 0,53 kWh/m²Monat bis 1,47 kWh/m²Monat, im zweiten Messzeitraum liegen die Werte zwischen 0,19 kWh/m²Monat und 0,89 kWh/m²Monat, wobei vor allem die Sommermo-

nate einen hohen spezifischen Lüftungsstromverbrauch aufweisen. Durch eine Anpassung der Laufzeiten der Lüftungsanlage an den Bedarf bzw. die Verringerung der Luftwechselrate konnte eine Reduzierung des Lüftungsstromverbrauchs um 50 % erreicht werden.

Einen sehr großen Anteil am Gesamtstromverbrauch nimmt im ersten Messzeitraum der Stromverbrauch der Grundwasserpumpe ein. Durch die Reduzierung der Laufzeiten der Wärmepumpe konnte der Stromverbrauch der Grundwasserpumpe von 19,11 kWh/m²a auf 7,58 kWh/m²a über 50 % reduziert werden.

Der Stromverbrauch der Pumpe für die Lüftungsvorheizung konnte durch Änderung des Schaltzeitpunktes ebenfalls um über 50 % reduziert werden.

Nur der Stromverbrauch der Gruppenräume und der Küche nahm im zweiten Messzeitraum leicht gegenüber dem Verbrauch des ersten Messzeitraumes zu. Der Jahresstromverbrauch der Gruppenräume betrug im ersten Messzeitraum 17,24 kWh/m²a, im zweiten Messzeitraum lag er bei 21,60 kWh/m²a.

Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen den jährlichen spezifischen Stromverbrauch als Kreisdiagramm. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe, der Stromverbrauch der Gruppenräume sowie der Stromverbrauch der Grundwasserpumpe betragen im ersten Messzeitraum jeweils über ein Viertel des Gesamtstromverbrauchs (26 %). Der Stromverbrauch der Lüftung beträgt 13%. Im zweiten Messzeitraum sinken die Stromanteile der Wärmepumpe und der Grundwasserpumpe auf jeweils 16%, der Stromanteil der Gruppenräume und der Küche nimmt auf 45 % bzw. 11 % zu.

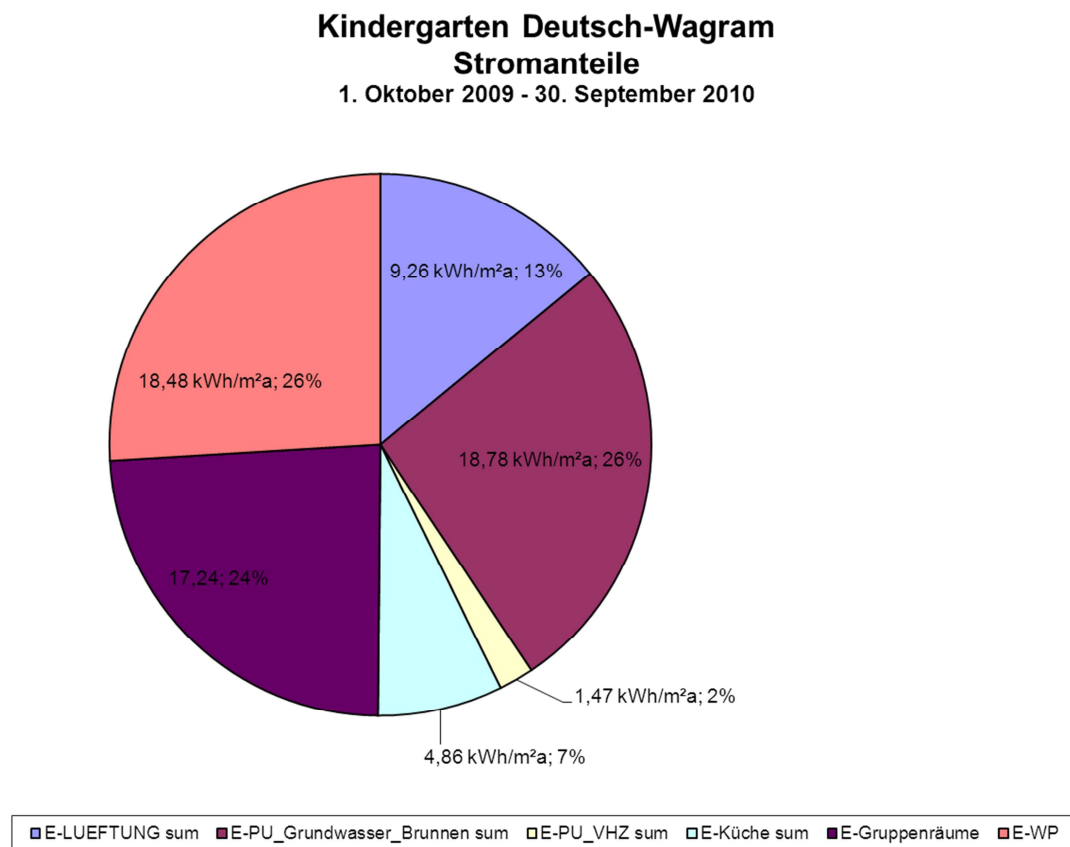


Abbildung 36: Spezifischer Stromverbrauch

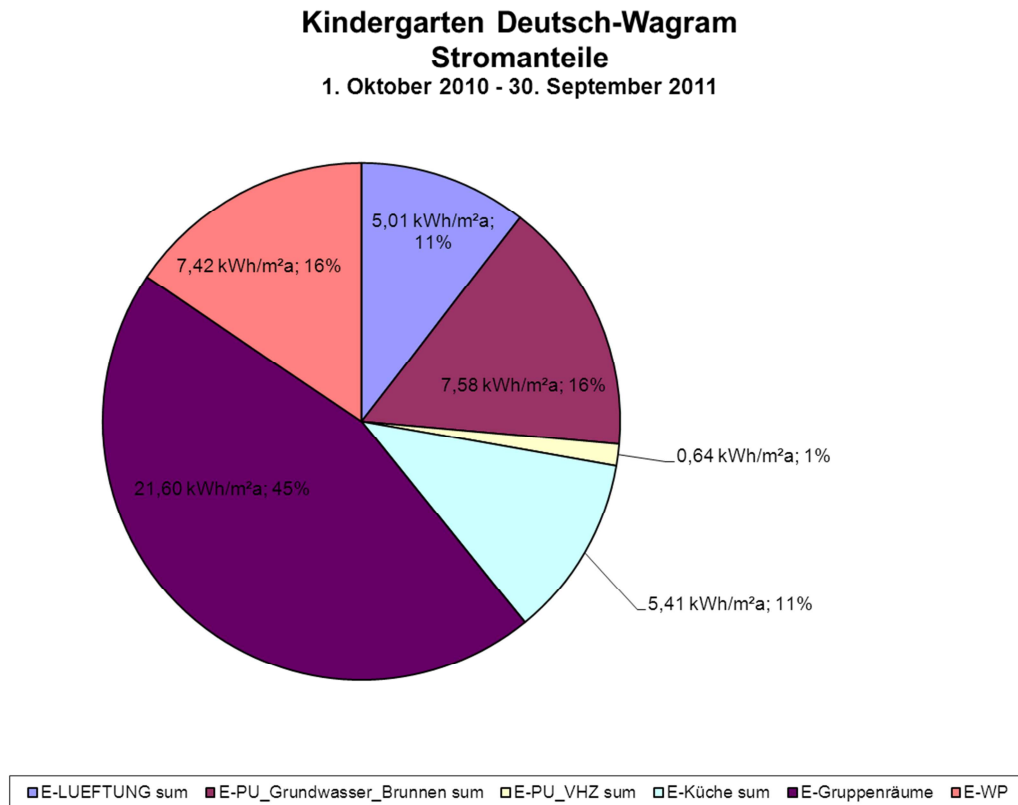


Abbildung 37: Spezifischer Stromverbrauch

Abbildung 38 zeigt den Vergleich der beiden Messjahre bezüglich des spezifischen Stromverbrauchs. Der Stromverbrauch konnte von 72,09 kWh/m²a auf 47,66 kWh/m²a gesenkt werden, das entspricht einer Einsparung von 34 %.

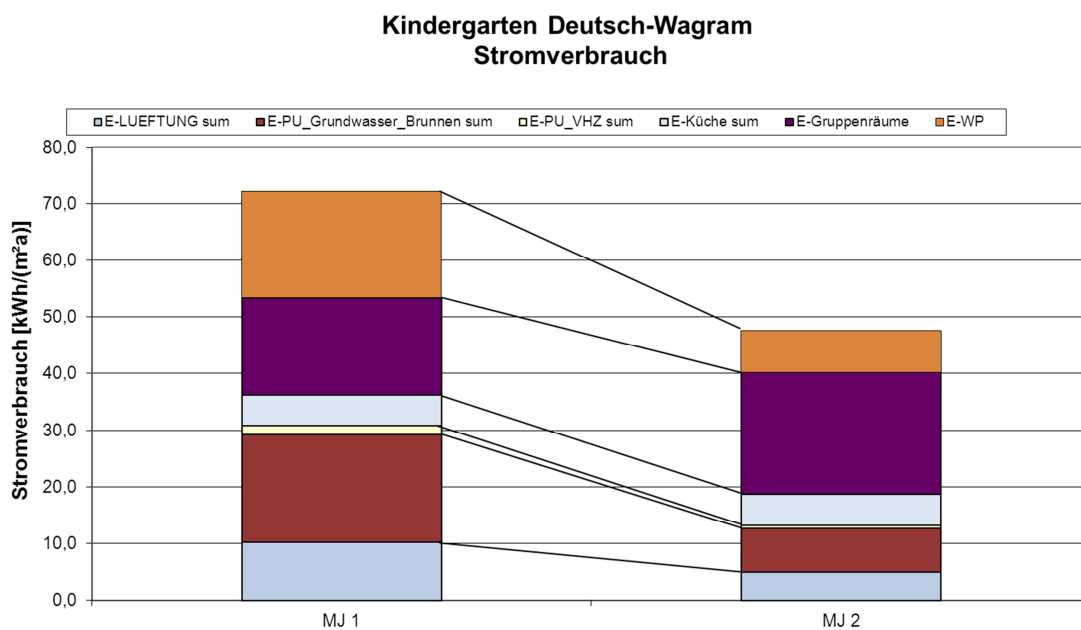


Abbildung 38: Stromverbrauch im Vergleich der beiden Messjahre

In Abbildung 39 werden die elektrischen Stromverbräuche der Lüftung, der Wärmepumpe, der Grundwasserpumpe und der Hilfspumpe für die Vorheizung der Lüftung als 15-min-Werte für die Woche von 25.1.2010 bis 1.2.2010 dargestellt. Die Zeitprogrammierung der Lüftung ist zu diesem Zeitpunkt fehlerhaft. Die Lüftungsanlage lief montags und dienstags mit einer Grund-Leistungsaufnahme von 500 W. Ab Mittwoch bis zum Wochenende lief eine Zeitprogrammierung. Die Auswirkung auf den Verlauf der CO₂-Konzentration zeigt Abbildung 40. Die CO₂-Konzentration steigt montags und dienstags bis auf maximal 1340 ppm an, während an den übrigen Tagen die CO₂-Konzentration bei maximal 1090 ppm lag. Der Grundlevel der Lüftungsanlage ist mit 500 W relativ hoch. Das Zeitfenster, in dem sich die Lüftungsanlage einschaltete lag zwischen 4 Uhr und 18 Uhr. Durch Einschränken der Betriebszeiten der Lüftungsanlage konnte hier eine Energieeinsparung erzielt werden.

Die Pumpe des Vorheizregisters läuft ständig mit einer Leistungsaufnahme von 230 W durch. Hier könnte der Energieverbrauch durch den Einbau einer Stromsparpumpe verringert werden. Dieser Verbesserungsvorschlag wurde bisher noch nicht umgesetzt.

Die Brunnenpumpe läuft gleichzeitig mit der Wärmepumpe mit konstanter Leistung. Die Leistungsaufnahme der Brunnenpumpe beträgt teilweise 50 % der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe. Durch den Einbau einer schwächeren Pumpe oder durch die Reduktion der Drehzahl ließe sich der Energieverbrauch der Brunnenpumpe verringern.

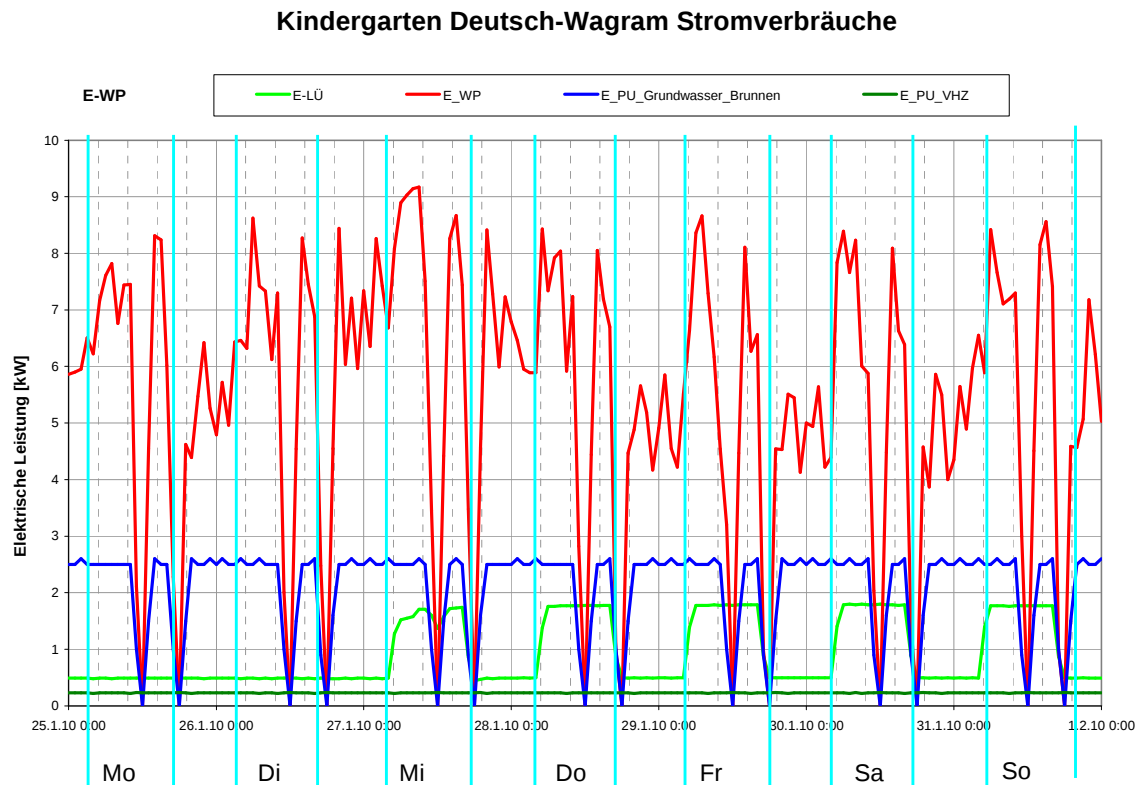


Abbildung 39: Elektrische Leistungsaufnahme der Lüftungsanlage, der Wärmepumpe, der Brunnenpumpe und der Pumpe zur Lüftungsvorheizung, 25.1.2010 bis 1.2.2010, 15 min-Werte

Abbildung 40 zeigt den Zusammenhang der CO₂-Konzentration in den Gruppenräumen mit der Lüftungsanlage. Nur mit Grundlüftung steigt die CO₂-Konzentration in den Gruppenräumen über den Grenzwert von Pettenkofer von 1000 ppm, schaltet die Lüftungsanlage auf eine höhere Stufe (in Abbildung 39 ab Mittwoch), so bleibt die CO₂-Konzentration unter diesem Grenzwert.

Kindergarten Deutsch-Wagram

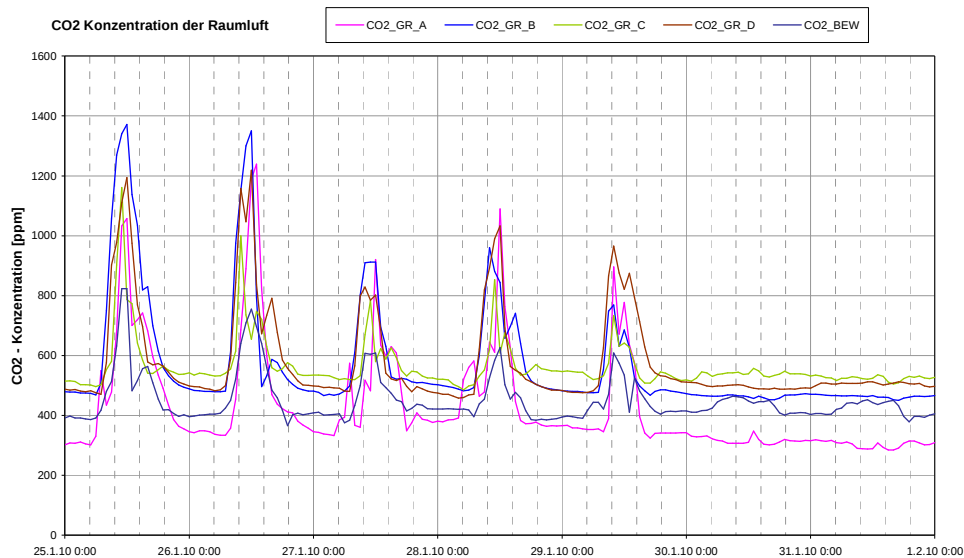


Abbildung 40: Verlauf der CO₂-Konzentration in den Gruppenräumen

Abbildung 41 zeigt die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Brunnenpumpe, weiters Vor- und Rücklauftemperaturen des Vorheizregisters der Lüftungsanlage, sowie die Energieaufnahme des Vorheizregisters und den Volumenstrom des Vorheizregisters. Im Zeitraum 27. Jänner 2010 bis 1. Februar 2010 beträgt die Temperaturdifferenz bei gegebenem Volumenstrom zwischen Vor- und Rücklauf der Brunnenpumpe zwischen 2,5 K und 8,5 K. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur des Vorheizregisters beträgt ca. 2 K. Die markanten Zacken in den Temperaturverläufen des Vorheizregisters korrelieren mit dem Schalten der Wärmepumpe.

Kindergarten Deutsch-Wagram

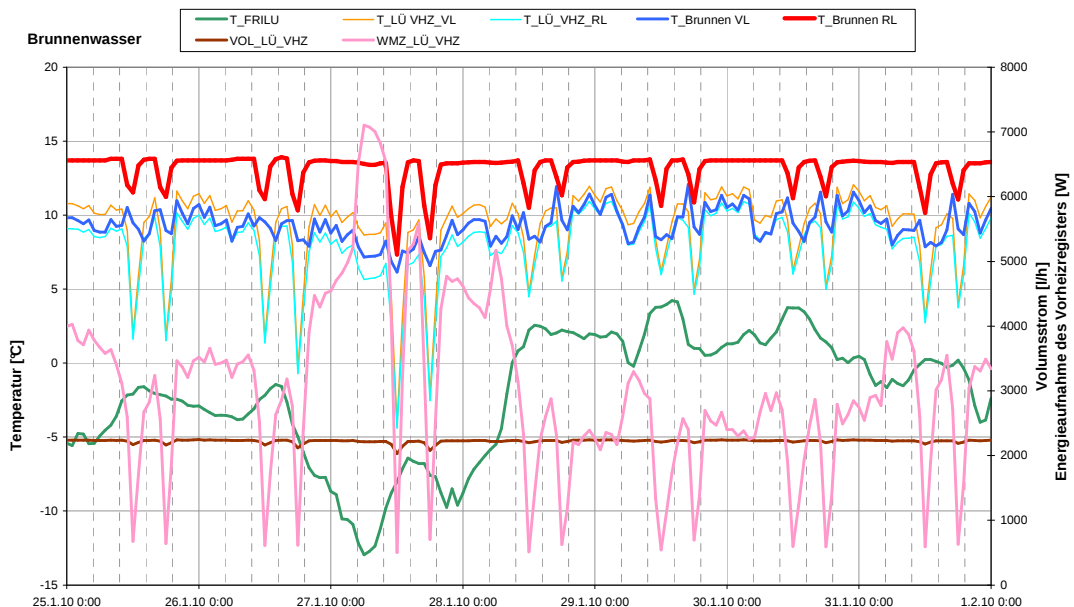


Abbildung 41: Systemtemperaturen der Brunnenpumpe und des Lüftungsvorheizregisters sowie Volumsstrom und Energieaufnahme des Lüftungsvorheizregisters.

5.6 Lüftungsanlage

Abbildung 42 zeigt die Temperaturen der Lüftungsanlage im Zeitraum zwischen Dezember 2009 und März 2010 (Winter). Die Zulufttemperaturen nach der Wärmerückgewinnung bzw. vor dem Nachheizregister (T-ZUL_n_WRG lila Kurve) bewegen sich zwischen 16°C und 21°C. Die Zufuhtemperatur nach dem Nachheizregister (T-ZUL orange Kurve) bewegt sich zwischen 20 und 30°C. Die Ablufttemperaturen liegen zwischen 21°C und 25°C.

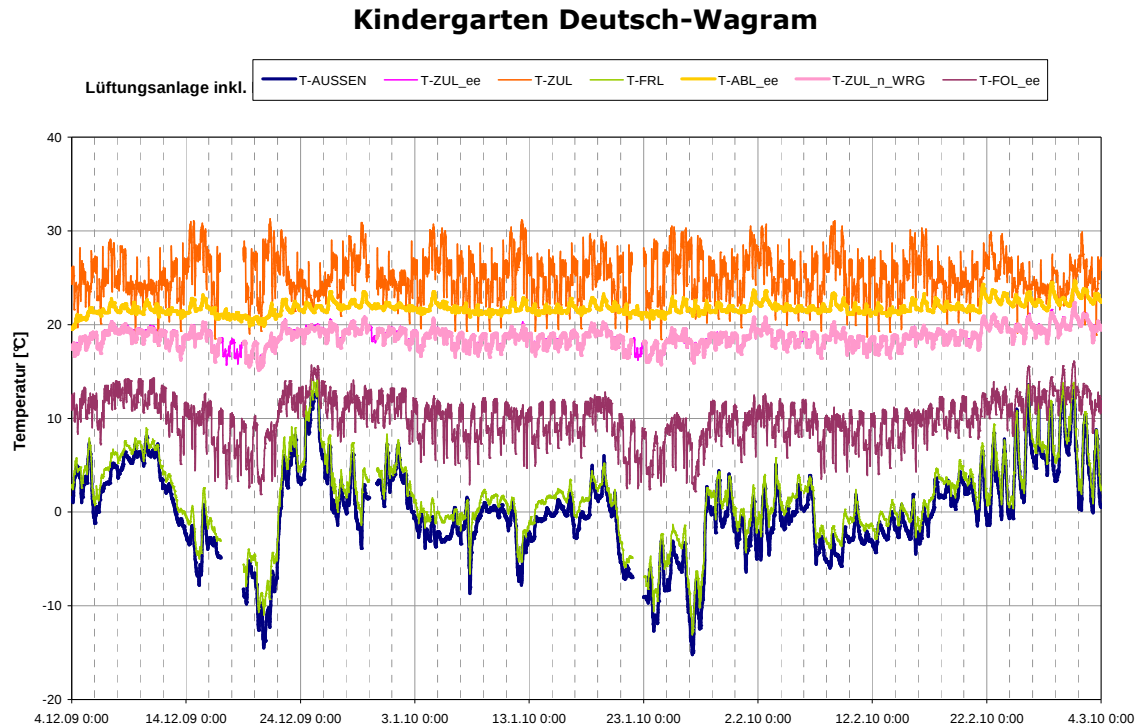


Abbildung 42: Lüftungstemperaturen, Dezember 2009 bis März 2010

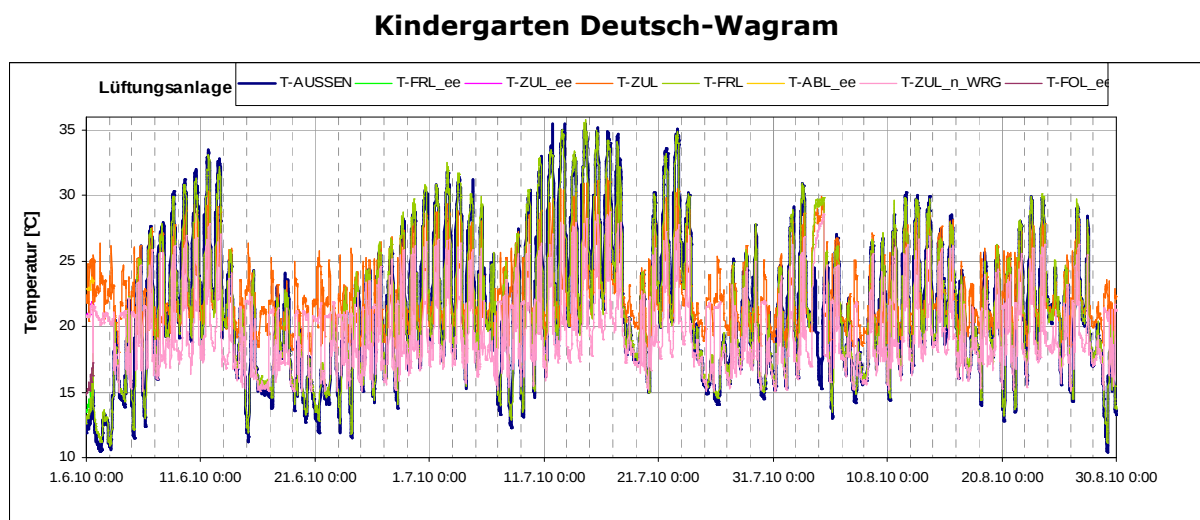


Abbildung 43: Lüftungstemperaturen, Juni 2010 bis August 2010

Abbildung 43 zeigt, dass in den warmen Monaten Juni bis August Außenlufttemperaturen von bis zu 36 °C erreicht werden. In der weiteren Betrachtung wird der wärmste Zeitbereich im Juli 2010 herausgegriffen.

Abbildung 44 zeigt die unterschiedlichen Betriebsführungsvarianten für die Kühlung der Zulufttemperatur.

Variante 1: Die Kühlung der Zuluft mittels Abluft über den Kreuzstromwärmetauscher ist eine sehr effiziente Methode, da keine weitere Antriebsenergie notwendig ist. Im unten dargestellten Diagramm bedeutet das, dass die Außenluft von 33°C auf 28°C abgekühlt werden kann. Das entspricht einer Kühlleistung von etwa 1 kW.

Variante 2: Die Kühlung der Zuluft mittels Brunnenwasser ist die leistungsfähigere Methode, jedoch wird hierfür in unserem Fall eine elektrische Antriebsenergie von ca. 2,3 kW für beide Pumpen (Brunnenpumpe und Kühlregisterpumpe) benötigt. Im unten dargestellten Diagramm bedeutet das, dass die Außenluft von 35°C auf 25°C abgekühlt werden kann. Das entspricht einer Kühlleistung von etwa 2 kW.

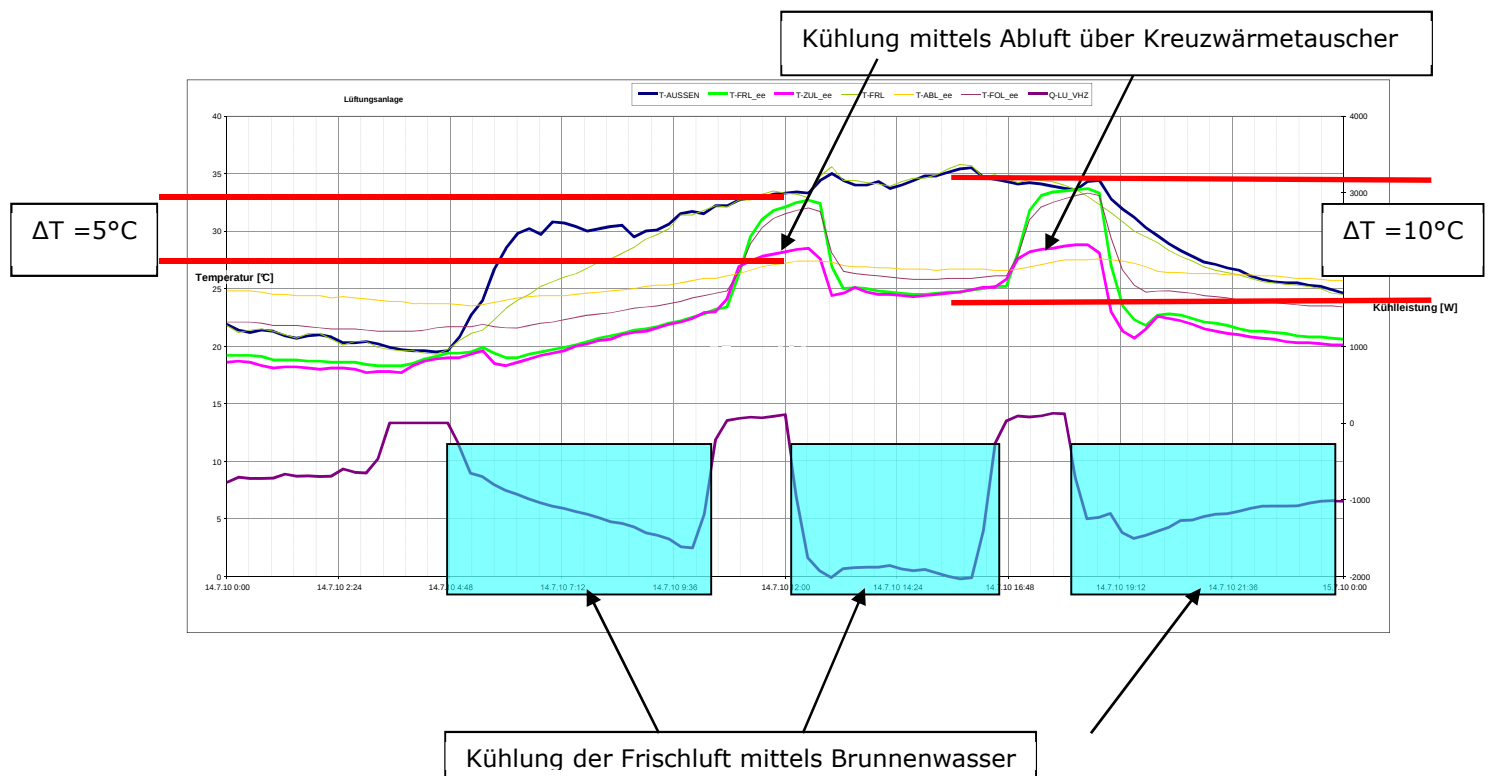


Abbildung 44: Raumtemperaturen und Klimawerte, 21.5.2010 bis 28.5.2010

Für den Winterfall zeigt Abbildung 45, dass nach der Wärmerückgewinnung noch eine Nachheizung der Zuluft durch die Wärmepumpe stattfindet. Die Zulufttemperatur nach Wärmerückgewinnung ($T_{Zul_n_WRG}$) liegt zwischen 16°C und 20°C, die Zulufttemperatur nach dem Nachheizregister liegt zwischen 21°C und 30°C. Die Frischlufttemperatur nach dem Vorheizregister (leuchtgrüne Kurve) liegt bis auf wenige Ausnahmen zwischen 5°C und 10°C. Da die Luftvorwärmung im Wesentlichen nur die Frostfreihaltung des Wärmerückgewinnungsregisters bewerkstelligen muss, konnte der Energieeinsatz für den Pumpstrom der Brunnenpumpe reduziert werden, indem die Regelung der Einschalttemperatur nach unten justiert wurde.

Kindergarten Deutsch-Wagram

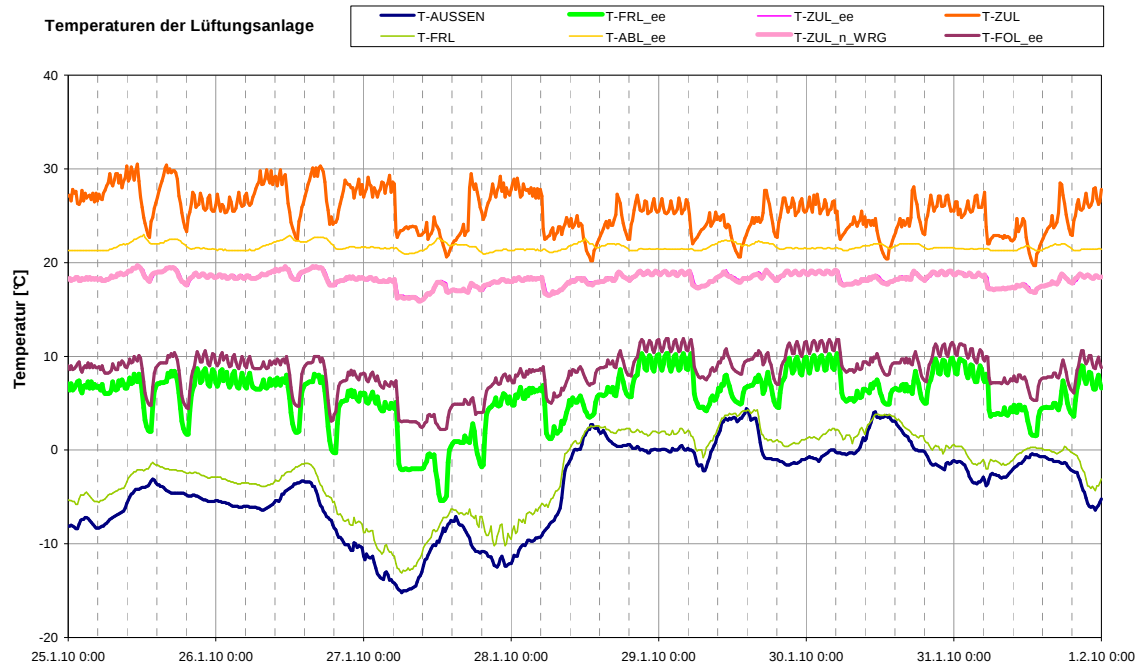


Abbildung 45: Lüftungstemperaturen, 25.1.2010 bis 1.2.2010

In Abbildung 46 ist zusätzlich zu den Lüftungstemperaturen auch die Rückwärmezahl eingezeichnet, die in diesem Messzeitraum größtenteils in Abhängigkeit der geförderten Luftmenge zwischen 80% und 88% liegt. Auf Leistungsstufe 20 % beträgt die Rückwärmezahl 88 %, auf Leistungsstufe 100 % beträgt die Rückwärmezahl 80 %. Das heißt, dass der Wärmetauscher in diesem Zeitraum sehr effektiv arbeitet.

Kindergarten Deutsch-Wagram

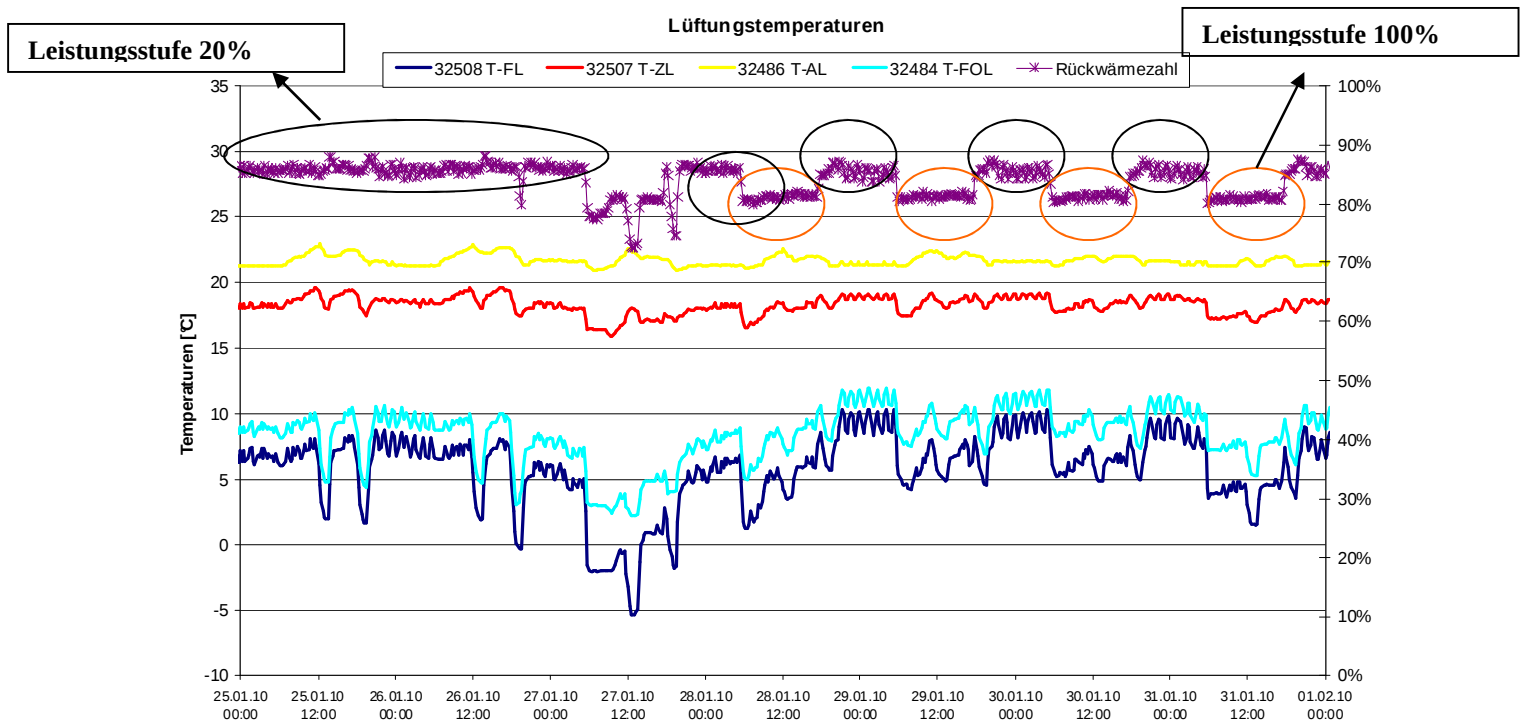


Abbildung 46: Lüftungstemperaturen und Rückwärmezahl, 25.1.2010 bis 1.2.2010

6 Zusammenfassung der Messergebnisse und Fazit

Die in diesem Bericht vorliegenden Messergebnisse wurden aus Messungen gewonnen, die im Zeitraum zwischen 1. September 2009 und 30. September 2011 im Kindergarten Deutsch-Wagram durchgeführt wurden.

Die Auswertung der Komfortparameter erfolgte für den Zeitraum 1. September 2009 – 31. August 2011, die Auswertung der Energiebilanz für den Zeitraum 1. Oktober 2009 bis 30. September 2011, da im September 2010 eine Umstellung der Heizanlage erfolgte, die dem ersten Messjahr zugerechnet wird.

Komfortparameter

Die Messung der Komfortparameter im Kindergarten Deutsch-Wagram erbrachte sehr gute Werte. Die in DIN 1946-2 geforderten Temperaturgrenzen und die in dieser Norm geforderte CO₂-Konzentration von 1500 ppm werden sehr gut eingehalten, darüberhinaus liegen fast 90 % der gemessenen Werte in der Raumluftklasse IDA 1 und IDA 2 nach EN 13779, was eine ausgezeichnete Luftqualität bedeutet.

Auch die relative Raumluftfeuchtigkeit konnte vom ersten zum zweiten Messjahr verbessert werden und lag im zweiten Messjahr praktisch immer über 20 % rF. Dies konnte zum einen durch die Verringerung der Luftwechselrate erreicht werden, als weitere Maßnahme zur Erhöhung der Raumluftfeuchte können innere Feuchtequellen wie Pflanzen dienen.

Energiebilanz

Die durch das begleitende Monitoring aufgezeigten Einsparpotentiale und durch die umgesetzten Maßnahmen tatsächlich erreichten Einsparungen sollen anhand der folgenden Tabelle dargestellt werden.

Tabelle 6: Überblick über die Messergebnisse

	1.Oktober 2009 – 30. September 2010	1. Oktober 2010 – 30. September 2011	Bemerkung	Zweites Mess- jahr temperatur- und klimabe- reinigt
Heizwärmever- brauch nach PHPP Grenzwert 15 [kWh/m²a]	54,51	31,21		26,8
Endenergiever- brauch nach PHPP Grenzwert 42 [kWh/m²a]	61,77	33,99	Einsparung 45 %	31,72
Primärenergiever- brauch nach PHPP Grenzwert 120 [kWh/m²a]	136,18	58,83	Einsparung 57 %	58,27
Stromverbrauch der Wärmepumpe [kWh/m²a]	18,70	7,42	Einsparung 60 %	
Stromverbrauch der Grundwasserpumpe [kWh/m²a]	19,11	7,58	Einsparung 60 %	

Lüftungsstromverbrauch [kWh/m²a]	10,16	5,01	Einsparung 51 %	
Arbeitszahl exkl. Grundwasserpumpe	2,7	3,7		
Arbeitszahl inkl. Grundwasserpumpe	1,3	1,8		

Der solare Anteil an der Energieeinbringung konnte von 38 % im ersten Messzeitraum auf 59 % im zweiten Messzeitraum gesteigert werden.

Die wesentlichen Gründe für den hohen Verbrauch im ersten Messzeitraum waren einerseits die im Winter sehr häufig offenen Oberlichten in den Gruppenräumen bzw. andererseits die hohe Luftwechselrate und die Laufzeiten der Wärmepumpe und Warmwasserzirkulation. Der Endenergieverbrauch betrug 61,77 kWh/m²a und der Primärenergiverbrauch betrug 136,18 kWh/m²a.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Brunnenpumpe waren relativ hoch. Dadurch lag die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ohne Berücksichtigung der Brunnenpumpe im Mittel des Messzeitraums bei 2,7.

Durch die Anpassung der Laufzeiten an den tatsächlichen Betrieb und durch die Optimierung der Regelstrategie konnten die Verbräuche wesentlich gesenkt werden und die Arbeitszahl der Wärmepumpe stieg auf 3,7.

Bei Berücksichtigung der Antriebsenergie der Grundwasserpumpe beträgt die Arbeitszahl für das erste Messjahr 1,3 und für das zweite Messjahr 1,8.

Durch den Einbau von Stromsparpumpen könnte der Stromverbrauch der Haustechnik noch weiter gesenkt werden.

Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage läuft mit einer Leistungsaufnahme von 500 W in der Grundstufe, was relativ hoch ist. Durch eine Verringerung der Lüftungszeiten und der Lüftungsmengen konnte der Stromverbrauch um 51 % reduziert werden. Die Wärmerückgewinnung ist sehr effektiv, in den Sommermonaten jedoch nicht immer erwünscht. Bei Leistungsstufe 20 % beträgt die Rückwärmezahl 88 %, bei Leistungsstufe 100 % beträgt die Rückwärmezahl 80 %.

Fazit

Das Projekt zeigt mit seiner positiven Entwicklung sowohl in Bezug auf Energieverbrauch als auch Raumkomfort die Wichtigkeit eines begleitenden Monitoring sehr deutlich, nicht nur in der Anfangs- und Einregulierungsphase, sondern auch über die weitere Laufzeit. Durch das Monitoring konnten einige Verbesserungspotentiale erkannt, Vorschläge zur Verringerung des Energieverbrauchs gemacht und durch die weitere messtechnische Begleitung auch evaluiert werden. So ergaben sich in diesem Projekt primärenergetische Einsparungen von über 50 %, eine Erhöhung des solaren Anteils der Energieerzeugung von 38 % auf 59 % und eine Stromeinsparung bei Lüftungsstrom, Wärmepumpe und Grundwasserpumpe von 51 % bzw. 60 % bei gleichzeitiger Steigerung des Raumkomforts.

7 Quellenverzeichnis

[Baubeschreibung]	Baubeschreibung zum Bauansuchen für den Neubau eines Kindergartens mit 4-Gruppen in Deutsch-Wagram, Architekturbüro Reinberg ZT GmbH, 1070 Wien
[DIN 1946-2]	Raumlufttechnik- Gesundheitstechnische Anforderungen, April 1999
[HLS]	Bauvorhaben Passivhaus Kindergarten Deutsch Wagram, Technische Beschreibung Passivhausqualität und Haustechnik – HLS, (Stand Polierplanung, Fassung vom 19.12.2007), TEAMGMI INGENIEURBÜRO GmbH, 1050 WIEN
[IEA SHC Task 26]	Solar Heating Systems for Houses, Werner Weiss (editor) Solar Heating and Cooling Executive Committee of the International Energy Agency (IEA), James & James (Science Publishers) Ltd, London 2003
[Leusden und Freymark]	Pels Leusden, F. Freymark, H.: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch, Gesundheitssingenieur 72, Nr.16, 271 bis 273, 1951 zitiert aus http://fzarchiv.sachon.de/index.php?pdf=Fachzeitschriften/Maler-und_Lackierermeister/2008/09_08/ML_09-08_12-16_Aспект_der_Pufferung.pdf (3.11.2010)
[OIB]	Nummer OIB-382-011/99 OIB Anhang zum Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen, Klimadaten, März 1999
[PEP]	Projekt "Promotion of European Passiv Houses" (PEP) 2005-2007, PEP-Website http://erg.ucd.ie/pep/
[PHPP 2007]	Passivhausprojektierungspaket (PHPP) des Passivhausinstituts Darmstadt, Tabellenblatt Primärenergiefaktoren