

Stadt Nürnberg
Hochbauamt, Kommunales Energiemanagement

Energieoptimierte Generalsanierung einer Kindertagesstätte mit Hilfe von Vakuumisulationspaneelen und innovativen Latentwärmespeichern



Abschlussbericht über ein Sanierungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 25044-25 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Eva Anlauff, Rainer Knaupp

Juli 2012

Bezugsquelle:
Stadt Nürnberg, Hochbauamt,
Kommunales Energiemanagement
Marientorgraben 11
90402 Nürnberg

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis von Bildern, Diagrammen und Tabellen	2
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	4
1. Zusammenfassung	5
2. Allgemeine Beschreibung und Ziele	6
3. Gebäudekonzept und erste Betriebserkenntnisse	9
3.1 Die Ausgangssituation	9
3.1.1 Architektur	9
3.1.2 Anlagentechnik	12
3.2 Das Sanierungskonzept	14
3.2.1 Architektur	14
3.2.2 Anlagentechnik	16
3.2.3 Beschreibung des Projekt- bzw. Bauablaufs	22
3.2.4 Messtechnische Begleitung	23
3.3 Ergebnisse der Messdatenauswertung	25
3.3.1 Bisherige Betriebserfahrungen Techn. Gebäudeausrüstung	25
3.3.2 Erkenntnisse bezüglich des Raumklimas	25
3.3.2a Messzeitraum Juli 2011	25
3.3.2b Messzeitraum Dezember 2011	27
3.3.2c Gruppenraum OG - CO ₂ -Simulation	28
3.3.2d Thermografieuntersuchungen	29
3.4 Energieverbräuche in den ersten Betriebsjahren	30
3.4.1 Elektrische Energie	31
3.4.1a Teilbereich Sonstiges	32
3.4.1b Teilbereich Beleuchtung	33
3.4.1c Teilbereich Steckdosen	34
3.4.1d Teilbereich Lüftung	36
3.4.1e Teilbereich Wärme	37
3.4.2 Wärmeenergie	38
3.4.3 Solare Energie für Warmwasser/Raumheizung	40
3.4.4 Bisherige Überlegungen bzw. Optimierungen	42
3.4.5 Ökologische Bilanzierung	50
3.4.6 Ökonomische Bilanzierung	51
3.4.7 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	52
4. Fazit	53
Literaturverzeichnis	54
Anhang	

Verzeichnis von Bildern, Diagrammen und Tabellen

	Seite
Tabelle 1: Einheiten der Wärmelehre	4
Tabelle 2: SI-Einheiten	4
Tabelle 3: Ausgangssituation der Gebäudehülle vor der Sanierung	10
Tabelle 4: Situation der Gebäudehülle nach der Sanierung	15
Tabelle 5: Monatlicher Gasverbrauch, Kesseltrug und Wirkungsgrad	42
Bild 1: Ansicht West, Haupteingang	6
Bild 2: Ansicht Süd	6
Bild 3: Ansicht Nord-Ost	6
Bild 4: Aula/Halle EG	7
Bild 5: Gruppenraum Theatergasse OG	7
Bild 6: Gruppenraum EG	7
Bild 7: Ansicht Ost	8
Bild 8: Ansicht Süd	8
Bild 9: Innenansicht im Bestand Aula	9
Bild 10: Innenansicht im Bestand Gruppenraum	9
Bild 11: Innenansicht im Bestand Gruppenraum	9
Bild 12: Luftbild vor Sanierung 2006	9
Bild 13: Luftbild während Sanierung 2009	9
Bild 14: Ansicht Bestandsgebäude West	10
Bild 15: Ansicht Bestandsgebäude Nord-Ost	10
Bild 16: Ansicht Bestandsgebäude Süd	10
Bild 17: Thermografieaufnahme Ostfassade Bestand	11
Bild 18: Thermografieaufnahme Westfassade Bestand	11
Bild 19-20: Wärmebrücke Stahlbetonstütze EG	12
Bild 21: Schnitt Stahlbetonstütze Bestand	12
Bild 22: Schnitt Stahlbetonstütze saniert	12
Bild 23: Heizungsanlage im Heizraum UG	12
Bild 24: Heizungsverteiler	12
Bild 25: Lüftungsgerät	12
Bild 26: Sanitärbereich	13
Bild 27: Beleuchtungsausstattung	13
Bild 28: Heizkörpersituation an Außenwand	13
Bild 29: Ansicht entkerntes Bestandsgebäude	14
Bild 30-31: Ansichten Stahlbeton-Skelettbau	14
Bild 32: Innenausbau Mehrzweck/Turnen	15
Bild 33: Innenausbau Küche	15
Bild 34: Innenausbau Gruppenraum	15
Bild 35: 1. Blower-Door-Test	16
Bild 36: 2. Blower-Door-Test	16
Bild 37: Außenliegender Sonnenschutz	16
Bild 38: Gasbrennwertkessel	18
Bild 39: Warmwasserbereitung	18
Bild 40: Neuer Heizungsverteiler	18
Bild 41: Solaranlage Wagner EURO-L20AR	19
Bild 42: Wärmespeicherung durch Phasenwechsel	19
Bild 43-44: Latentwärmезellen, ohne und mit Verkleidung	19
Bild 45: Tichelmannverrohrung	19

Bild 46: Montage VIP-Dämmung	20
Bild 47: Montage Fußbodenheizung	20
Bild 48: Lüftungsgerät EG	21
Bild 49: Lüftungsgerät OG	21
Bild 50: Innenbeleuchtung Gruppenraum	21
Bild 51: Innenbeleuchtung Flur OG	21
Bild 52: Innenbeleuchtung Mehrzweck/Turnen	21
Bild 53: Ansicht West, Haupteingang	23
Bild 54: Ansicht Süd	23
Bild 55: Ansicht Nord-West, Dachterrasse mit Obergeschoss	23
Bild 56: Siemens Synco 700	24
Bild 57: Thermografie Westfassade Haupteingang	30
Diagramm 1: Kumulierte Gesamtkosten	17
Diagramm 2: Raumklima KiGa EG Aula 11.-18.07.2011	25
Diagramm 3: Raumklima KiHo OG Gruppenraum Theatergasse 11.-18.07.2011	26
Diagramm 4: Raumklima KiGa EG Aula 12.12.2011	27
Diagramm 5: Raumklima KiHo OG Gruppenraum Theatergasse 16.-17.12.2011	27
Diagramm 6: CO ₂ -Verlauf über 24h Gruppenraum OG Theatergasse	29
Diagramm 7: Spezifische Bedarfe und Verbräuche für Wärme und Strom	30
Diagramm 8: Gesamtstromverbrauch unterteilt in Haupt- und Niedertarif	31
Diagramm 9: Stromverbrauchsaufteilung	32
Diagramm 10: Vergleich des Stromverbrauches der Beleuchtung EG/OG	33
Diagramm 11: Tagesstromverlauf KiGa EG 10.05.2012	34
Diagramm 12: Vergleich des Stromverbrauches der Geräte an Steckdosen EG/OG	35
Diagramm 13: Wirkleistung in Abhängigkeit der Stufe Luftvolumenstrom	36
Diagramm 14: Luftvolumenstrom in Abhängigkeit der Wirkleistung	36
Diagramm 15: Stromverbrauch Lüftung	37
Diagramm 16: Stromverbrauch Heizung	38
Diagramm 17: Wärmeverbrauchsverlauf ab Nutzungsbeginn	38
Diagramm 18: Aufteilung der Wärmeverbräuche	39
Diagramm 19: Prozentuale Aufteilung der Wärmeverbräuche im 1. Betriebsjahr	40
Diagramm 20: Wärmeverlauf Solar-/Latentanlage	40
Diagramm 21: Warmwasserverbrauch gesamt und erforderliche Wärmeenergie	41
Diagramm 22: Energieeinsatz und Heizkessel-effizienz	43
Diagramm 23: Messung der Kessel-Systemtemperaturen 11.-16.11.2011	44
Diagramm 24: Ermittlung der Heizgrenztemperatur	45
Diagramm 25: Messung der Solar-Systemtemperaturen 26.03.-04.04.2012	46
Diagramm 26: Funktion Latentspeicher im Jahresverlauf	48
Diagramm 27: Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	50
Diagramm 28: Primärenergetische Bewertung	50
Diagramm 29: Energiekosten für Wärme und Strom	51
Diagramm 30: Mittlere jährliche Gesamtkosten Varianten	52
Diagramm 31: Bewertung spez. Transmissionswärmeverlust	53

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Jahres-Primärenergiebedarf

Soviel Energie muss aus einer Energiequelle, z.B. Erdgas oder Erdöl, gewonnen werden, um ein Gebäude pro Jahr zu beheizen und mit Warmwasser zu versorgen.

Primärenergie

Energiegehalt von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen sind, z.B. fossile Brennstoffe.

Für die Bewertung des Primärenergiefaktors werden alle vorgelagerten Prozessschritte eines Energieträgers berücksichtigt, insbesondere also der Energieaufwand für die Gewinnung, die Aufbereitung und den Transport.

Endenergie

Energie in der Form, wie sie beim Verbraucher ankommt und verbraucht wird, z.B. Heizöl.

Jahres-Heizwärmebedarf

Energie, die die Heizungsanlage pro Jahr zum Beheizen des Gebäudes bereitstellen muß. Der Heizwärmebedarf setzt sich zusammen aus den Wärmegewinnen (Personen-, Gerätewärme, Solareinstrahlung) und den Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung).

Trinkwasser-Wärmebedarf

Energie, die pro Jahr für die Erwärmung des Trinkwassers erforderlich ist.

Transmissionswärmeverlust

Energie, die aufgrund des Wärmedurchgangs durch Außenwände, Fenster und Dach verloren geht.

Lüftungswärmeverlust

Energie, die durch Lüften und Fugen (z.B. Fenster, Türen) verloren geht.

Anlagenaufwandszahl

Maß für die Effizienz der Anlagentechnik (Heizkesseltyp, Installationsart, Aufstellungsort).

Tabelle 1: Einheiten der Wärmelehre [Rath10]

Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen
Celsius-Temperatur	t	Grad Celsius ($t = T - 273,15 \text{ K}$)	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur	T	Kelvin (Basiseinheit)	K
Temperaturdifferenz	ΔT	Kelvin	K
Wärmekapazität	C	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	
Wärmekapazität (spez.)	c	$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1} = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	
Wärmeleitfähigkeit	λ	$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$	
Wärmemenge	Q	Joule = $\text{W} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	J

Tabelle 2: SI-Einheiten [Rath10]

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	l, s, r	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
elektr. Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I	Candela	cd

1. Zusammenfassung

Mit der Generalsanierung der Kindertagesstätte Reutersbrunnenstraße 40 wurde ein bestehendes Gebäude aus den 70er Jahren umgebaut und auf einen höheren Baustandard als gesetzlich gefordert modernisiert.

Der Baubeginn war im Frühling 2008, die Fertigstellung erfolgte im Juni/Juli 2010. Am 24. Juli 2010 wurde die KiTa ihrer bestimmungsgemäßen Nutzung übergeben. Anfang September 2010 startete der Alltag in Kindergarten und Kinderhort in den neuen Räumlichkeiten.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gewährte Fördergelder zur Umsetzung neuer Technologien bzw. Materialien.

Das Kommunale Energiemanagement (KEM) führt seit September 2010 ein messtechnisches Begleitmonitoring mit Unterstützung des Nutzerpersonals durch.

Ergebnisse in den ersten zwei Betriebsjahren

Es ergaben sich nach anfänglichen Problemen mit der Heizungshydraulik gute thermische Behaglichkeiten während der Winterzeit in den Gruppenräumen bzw. in der Aula, die Raumlufttemperaturen lagen überwiegend um die 23°C.

Die Raumluftfeuchte pendelte in einem akzeptablen Bereich zwischen 29 und 41 % r.F..

Im Sommer 2011 konnte eine noch zufriedenstellende Behaglichkeit erreicht werden. Im Juli und August 2011 wurden z.T. Temperaturspitzen von 28°C gemessen. Hier spielt allerdings das Lüftungs- und Verschattungsverhalten der Nutzer eine wesentliche Rolle.

Die gemessenen CO₂-Konzentrationen lagen bei Aula EG und Garderobe/Flur OG unter dem Grenzwert von 1.400 ppm (mit Lüftungsanlagenbetrieb). Problematischer erscheinen die Gruppenräume, da hier nur über Fenster gelüftet werden kann und in welchen bei Vollbelegung CO₂-Spitzen bis 1.800 ppm gemessen wurden.

Wichtige Korrekturen sind am Heizungssystem erforderlich, um die Solar-/Latentanlage effizienter einzubinden und zukünftig höhere (solare) Wärmegevinne zu erzielen.

Die Energiebilanz ergibt einen Primärenergiewert über alle Medien (Wärme, Strom) von 186 bzw. 194 kWh/m²a im ersten bzw. zweiten Betriebsjahr; als Zielanforderung waren 148 kWh/m²a geplant. Vor der Sanierung betrug der Wert noch sehr hohe 355 kWh/m²a.

Die energiebedingten CO₂-Emissionen liegen mit 50 bzw. 52 t/a leicht über dem Planungsziel von 39 t/a, aber deutlich unter dem Ausgangszustand von 91 t/a.

Der witterungsbereinigte Heizenergieverbrauch belief sich vor der Sanierung auf 339 MWh/a (264 kWh/m²a). Außerdem wurden 31,5 MWh/a Strom verbraucht (25 kWh/(m²a)). Die genannten Verbrauchswerte wurden aus dem Durchschnitt der Jahre 2004 bis 2007 ermittelt.

Nach der Generalsanierung ging der Heizenergieverbrauch im ersten Betriebsjahr (Zeitraum 15.09.2010 bis 30.09.2011) auf 139,5 MWh/a (107,73 kWh/m²a), im zweiten hochgerechneten Betriebsjahr auf 147,1 MWh/a (113,56 kWh/m²a) deutlich zurück. Das Sanierungsziel wurde mit 79 kWh/m²a angepeilt.

Der Stromverbrauch stieg im ersten Betriebsjahr auf 33,5 MWh/a (26 kWh/m²a), im zweiten Betriebsjahr auf 34,6 MWh/a (27 kWh/m²a) leicht an. Ziel waren hier 22 kWh/m²a.

Die aktuellen Mehrverbräuche gegenüber den anspruchsvollen Zielen zeigen allerdings die Notwendigkeit einer weiteren Monitoring- und Optimierungsphase.

Die Mehrkosten für die energetisch verbesserte Sanierungsausführung betragen ca. 115.000 EUR, dies entspricht ca. 4,6 %. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt eine Amortisationszeit gegenüber der Standardvariante nach EnEV 2007 von 6 Jahren.

2. Allgemeine Beschreibung und Ziele

Die Stadt Nürnberg hat sich durch zahlreiche Initiativen der Nachhaltigkeit verpflichtet. Die Verpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften und Handeln bedeutet, den nachfolgenden Generationen im gleichen Umfang den Zugang zu Ressourcen, wie z.B. Energievorräten, und einer unversehrten Umwelt zu ermöglichen.

Der Nürnberger Stadtrat hat diesbezüglich mit weitreichenden Beschlüssen den Weg zum verantwortungsvollen Umgang mit Energie und Wasser geebnet. Mit dem zweiten, 2007 vorgestellten „Klimaschutzfahrplan 2010–2020“ soll der CO₂-Ausstoß in Nürnberg bis zum Jahr 2020 um 40 % (gegenüber 1990) verringert und der Anteil an regenerativer Energie bis 2020 auf 20 % angehoben werden.

Auch mit dem Beitritt der Stadt Nürnberg zum „Covenant of Mayors“ (Konvent der Bürgermeister) im Februar 2009 wird der Klimaschutz erneut zum wichtigen politischen Ziel.

Somit kommt der Stadt Nürnberg mit einem Gebäudebestand von ca. 1.300 Gebäuden und Liegenschaften (2010: Gesamtenergiekosten ca. 42 Mio. EUR) eine Vorbildfunktion gegenüber der Bürgerschaft und der Privatwirtschaft zu.



Bild 1: Ansicht West, Haupteingang

Bild 2: Ansicht Süd

Bild 3: Ansicht Nord-Ost

Das Baureferat übernimmt hier mit dem Kommunalem Energiemanagement (KEM) im Hochbauamt (seit 1997) die aktive Ausgestaltung der entsprechenden kommunalpolitischen Ziele und Vorgaben. Neben dem Beitrag zur Ressourcenschonung, dem Klimaschutz und zur Kostenoptimierung, führt dies auch zu einer Sensibilisierung der Öffentlichkeit für energie-relevante Themen.

Ein wichtiger Meilenstein hierbei ist die Verabschiedung der energetischen ‚Leitlinien zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und nachhaltigen Bauen und Sanieren bei städtischen Hochbaumaßnahmen‘ durch den Nürnberger Stadtrat im November 2009. Diese schreiben z.B. vor, alle Neubauten als Passivhäuser zu bauen, wenn sich dies als wirtschaftlich erweist; bei umfassenden Sanierungsmaßnahmen soll der Neubaustandard nach EnEV 2009 erreicht werden. Für das Projekt ‚KiTa Reutersbrunnenstraße‘ galten die energetischen Standards der Stadt Nürnberg von 2007 mit bestimmten Wärmeschutzstandards.

Mit dem vierten Platz (von 73 Teilnehmerkommunen) beim bundesweiten Wettbewerb zur „Bundeshauptstadt im Klimaschutz“ durch die Deutsche Umwelthilfe im Oktober 2010 wurden das Engagement und die bisherigen Ergebnisse der Stadt Nürnberg gewürdigt.

Die Kindertagesstätte Reutersbrunnenstraße 40 wurde 1975 als freistehender, z.T. zweigeschossiger Stahlbetonskelettbau mit Flachdach und Dachterrasse erbaut. Der wärmeschutztechnische Zustand der Gebäudehülle war als relativ schlecht zu bewerten. Dies bestätigten

durchgeführte Thermografieuntersuchungen sowie sehr hohe Heizenergieverbräuche. Die bestehende anlagentechnische Ausstattung (z.B. Gaskonstantheizung, Zuluftanlage) war ebenso alt wie das Gebäude und entsprechend verbraucht. Innenwände und Innenausbauten waren teilweise schadstoffbelastet. Die Fluchtwegesituation sowie die Küchen entsprachen nicht den geltenden Vorschriften. Ein Aufzug zur behindertengerechten Erschließung war nicht vorhanden. Die Kindertagesstätte beherbergte ursprünglich 3 Kindergartengruppen mit 75 Plätzen sowie einen Kinderhort mit ebenfalls 75 Plätzen. Zur Betreuung waren 10-15 Personen pädagogisches und Hilfspersonal zugeordnet.

Ziel des Projektes war, das Bestandsgebäude unter ganzheitlichen Gesichtspunkten zu sanieren und umzubauen, um das enorme Energiesparpotential zu nutzen und geltende baurechtliche bzw. sonstige Bestimmungen einzuhalten. Dies bewirkt eine nachhaltige Senkung der Betriebskosten und die Verbesserung der Funktionalität, der Behaglichkeit und des Komforts für die Kinder und das Personal. Der gestiegene Komfort sollte sich durch bessere Tageslichtnutzung, Schallschutz und Verbesserung der Raumakustik widerspiegeln. Außerdem bewirkt die Sanierung eine Gebäudesubstanzerhaltung und -wertsteigerung. Ein anderes Ziel war, die nur bedingt dem geltenden Standard entsprochene Fluchtwegesituation zu verbessern und die KiTa mit einem Personenaufzug nachzurüsten. Außerdem wird versucht, den Kindern durch die jetzt auf die neue pädagogische Lernmethodik der „Offenen Gruppen“ eingegangenen baulichen Maßnahmen einen noch besseren „Start“ ins Schulleben zu verschaffen.

Anlagentechnisch sollten auch regenerative Energien (Solaranlage) sowie neue Technologien bzw. Materialien (Vakuum-Isolations-Paneele VIP, Latentwärmespeicher) zum Einsatz kommen. VIP-Dämmungen und Latentspeicher sind nach wie vor nicht eingeführter Stand der Technik und werden meist nur bei Demonstrations- bzw. Forschungsvorhaben realisiert. Mit der energetischen Sanierung sollte hinsichtlich der betrachteten Bereiche Gebäudehülle und Anlagentechnik (Heizung/Lüftung) eine wesentliche Verbesserung der Energieeffizienz angestrebt und darüber hinaus der Neubaustandard nach Energieeinsparverordnung (ursprünglich 2002/2007) weit unterschritten werden.



Bild 4: Aula/Halle EG

Bild 5: Gruppenraum Theatergasse OG

Bild 6: Gruppenraum EG

Insgesamt sollte mit der Sanierung des Gebäudes gezeigt werden, dass es möglich ist, auch unter sehr schwierigen Ausgangsbedingungen (Bestandssituation, ganzheitlicher Ansatz) eine energetisch anspruchsvolle Sanierung weit unter bauordnungsrechtlichem Neubauniveau umzusetzen und dabei alle Anforderungen von Funktion und Nutzung qualitativ anspruchsvoll zu realisieren.

Die Möglichkeiten der sinnvollen Integration erneuerbarer Energien, die Anwendung neuer Technologien und der Einsatz neuer Materialien sowie die dabei gemachten praktischen Erfahrungen und tatsächlichen Auswirkungen können beschrieben und bewertet werden. Darüber hinaus gibt es in Nürnberg eine Reihe vergleichbarer Gebäude, auf die sich die Erfahrungen übertragen lassen.

Vor Beginn der Planungen (Architektur durch Mitarbeiter des Hochbauamtes, Technische Gebäudeausrüstung durch externe Ingenieurbüros) wurde ein Energiekonzept durch das Kommunale Energiemanagement im Hochbauamt erarbeitet. Dieses ging von einer Unterschreitung der Neubauanforderungen nach Energieeinsparverordnung 2002/2007 von etwa 30 bis 40 % aus. Die Verbräuche im sanierten Zustand sollten sich um ca. 60 bis 70 % gegenüber dem Ausgangszustand verringern.

Nach Abschluss der Sanierung sollte mittels thermografischer Untersuchung und Blower-Door-Test die Ausführungsqualität der Gebäudehülle überprüft werden.

Außerdem war von Beginn an vorgesehen, das Projekt mindestens bis drei Jahre nach Fertigstellung messtechnisch zu begleiten und danach in das Verbrauchsmonitoring von KEM zu übernehmen.



ANSICHT OST Bild 7



ANSICHT SUD Bild 8

Finanziert wurde das Projekt von der Stadt Nürnberg selbst; die Projektgesamtkosten betragen ca. 2,48 Mio. EUR, wobei erst durch die Fördergelder von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) in Osnabrück (124.908 EUR) die Umsetzung des Projektes mit thermischer Solaranlage und Latentspeicher durchgeführt werden konnte. Weitere Fördermittel steuerte die staatliche KfW-Bank mit rund 63.300 EUR bei (Programm Energetische Gebäudesanierung, Zinsvorteil Kredit). Die N-ERGIE AG bezuschusste mit 10.000 EUR die CO₂-Einsparung und die BAFA förderte den Einbau der Solaranlage mit 3.730 EUR. Gesamt wird damit eine Fördersumme von 201.938 EUR erzielt.

3. Gebäudekonzept und erste Betriebserkenntnisse

3.1 Die Ausgangssituation

Die Kindertagesstätte umfasste ursprünglich 3 Kindergartengruppen mit 75 Plätzen, einen Kinderhort mit ebenfalls 75 Plätzen und ca. 10-15 Personen pädagogisches und Hilfspersonal zur Betreuung der Kinder.

Die pädagogische Arbeit wurde im Kindergarten und im Kinderhort gruppenbezogen durchgeführt, d.h. die Kinder waren in drei feste Gruppen eingeteilt; jeder Gruppe war ein Gruppenhauptaum und ein Gruppennebenraum zugeordnet, den Kindergartengruppen auch ein eigener Sanitärbereich.

Die Gruppenräume wurden identisch gestaltet und wurden ursprünglich auch identisch ausgestattet. Mit Mitteln der Ausstattung und Möblierung wurde in der letzten Zeit vor der Sanierung im Bereich des Kinderhorts versucht, den Wandel zu aktuellen pädagogischen Konzepten („Offene Gruppen“) auch räumlich umzusetzen.



Bild 9: Innenansicht im Bestand Aula

Bild 10: Innenansicht im Bestand Gruppenraum

Bild 11: Innenansicht im Bestand Gruppenraum

3.1.1 Architektur

Die Kindertagesstätte in der Reutersbrunnenstraße 40 wurde 1975 erbaut und liegt an der Willstraße. Auf dem Grundstück gibt es zwei verschiedene Eingänge: einen von der Reutersbrunnenstraße mit Parkmöglichkeiten und einen von der Willstraße. Das Grundstück grenzt an das Pegnitzufer und ist an der Südseite von Bäumen umrandet.



Bild 12: Luftbild vor Sanierung 2006



Bild 13: Luftbild während Sanierung 2009

Das Gebäude ist freistehend, zweigeschossig mit einem Flachdach und einer Dachterrasse und ist zum Teil unterkellert. Es handelt sich um einen Stahlbeton-Skelettbau mit dem Rasterabstand der Stützen von 7,80 m x 7,80 m.



Bild 14: Ansicht Bestandsgebäude West

Bild 15: Ansicht Bestandsgebäude Nord-Ost

Bild 16: Ansicht Bestandsgebäude Süd

Die beheizte Nettogrundfläche NGF des Gebäudes gesamt beträgt **1.283 m²** vor und **1.295 m²** nach der Sanierung und hat sich damit nur unwesentlich geändert.

Die Flachdächer waren im Bestand aus Stahlbeton mit schwacher Wärmedämmung und Kiesschüttung. Bodenplatte bzw. Kellerdecke waren nicht gedämmt. Die Bodenplatte gegen Erdreich stellt nach wie vor den flächenmäßig größten Bereich im Erdgeschoss dar. Nur ein kleiner Bereich ist unterkellert. Im Keller befinden sich der Heiz- und Technikraum sowie ein Werkraum für den Kindergarten.

Die Wände im EG und OG bildeten Beton-Fertigteil-Sandwich-Elemente mit Kerndämmung. Die Fensterkonstruktion bestand aus Aluminium-Profilen mit Isolierverglasungen.

Die Ausgangssituation der Gebäudehülle war wie folgt:

Außenbauteil	Wärmedurchgangskoeffizient U in W/(m ² K)	
Flachdach	0,72	
Außenwand Sandwichelement	0,96	
Außenwand Laibung	3,47	
Außenwand Fassadenelement	0,85	
Glasaußenfassade	3,20	g-Wert 0,75
Bodenplatte EG gegen Erdreich	0,79	
Wärmebrückenzuschlag	0,10 W/m ² (pauschal)	
A/V-Verhältnis	0,51	
Fensterflächenanteil	Nordfassade	25%
	Südfassade	26%
	Westfassade	28%
	Ostfassade	30%

Tabelle 3: Ausgangssituation der Gebäudehülle vor der Sanierung

Innenwände und Innenausbauten waren teilweise schadstoffbelastet. Die Fluchtwegesituation sowie die Küchen entsprachen nicht den geltenden Vorschriften. Ein Aufzug zur behindertengerechten Erschließung war nicht vorhanden.

Der wärmeschutztechnische Zustand der Gebäudehülle war als relativ schlecht zu bewerten und für das Baujahr typisch. Dies bestätigten sowohl die durchgeführten Thermografieuntersuchungen (2005) sowie die sehr hohen Energieverbräuche.

Die Thermografieuntersuchungen zeigten z.B. an den Fassadenelementen Schwachstellen an den Befestigungspunkten der Platten an der Unterkonstruktion sowie an den Fugen zwischen den einzelnen Platten. In der ungestörten Fläche tritt hingegen noch eine relativ gute Wärmedämmwirkung auf.



Bild 17: Thermografieaufnahme Ostfassade Bestand

Besonders problematisch waren die vom OG aus der thermischen Hülle in das EG herausragenden Stahlbetonstützen. Damit bildeten sie entsprechende Wärmebrückensituationen. Sehr große Wärmeverluste verursachten auch verbaute Fassadenelemente in Metallleichtbauweise sowie die Fenster mit den Alu-Profilen. Diese beeinflussten durch niedrige Oberflächentemperaturen auch direkt die Behaglichkeit der Nutzer im Gebäude.

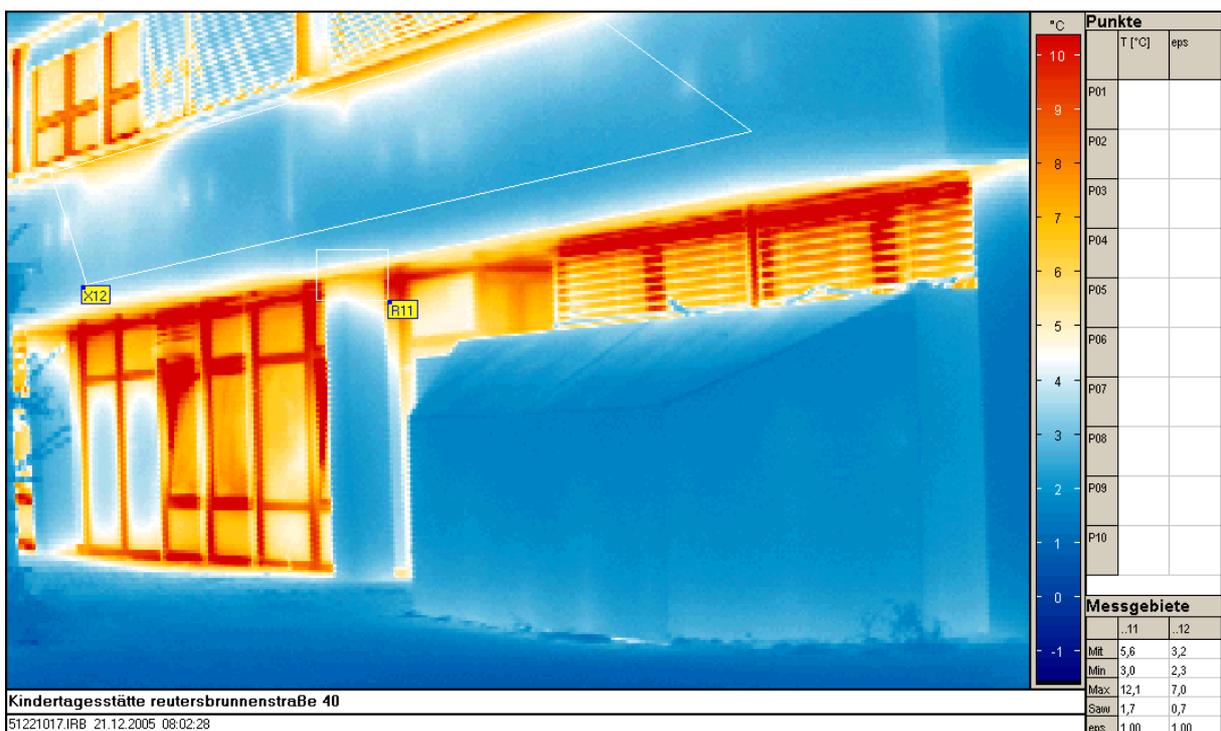


Bild 18: Thermografieaufnahme Westfassade Bestand



VORHANDENE FASSADE OG:
STAHLBETONFERTIGTEILE MIT
40 MM KERNDÄMMUNG

30 MM DÄMMUNG IM
FASSADENRÜCKSPRUNG

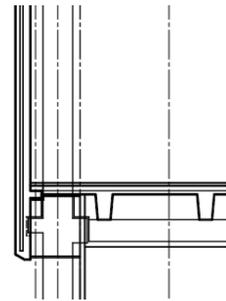


Bild 19-20: Wärmebrücke Stahlbetonstütze EG

Bild 21: Schnitt Stahlbetonstütze Bestand

In diesem Zusammenhang sollen hier gleich die entsprechenden Sanierungsdetails aufgezeigt werden:

- Stützen EG: vertikal vollflächig 4 cm (WLG 040)
- Deckenanschluss EG längs: vertikal 2x 12 cm (WLG 040), horizontal 2x 12 cm (WLG 040)

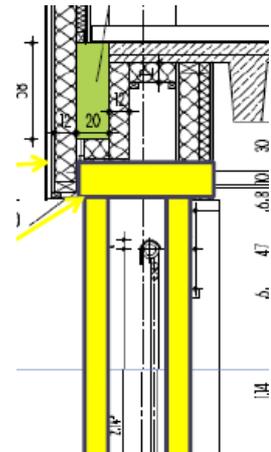


Bild 22: Schnitt Stahlbetonstütze saniert

3.1.2 Anlagentechnik

Die anlagentechnische Ausstattung der Gebäudetechnik war überwiegend seit der Gebäudeerrichtung 1975 in Betrieb und entsprechend abgenutzt.

Die vorhandene Gas-Konstanttemperaturheizung im Heizraum UG war als offene Anlage mit einer Leistung von 186 kW (Stahl-/Gusskessel) rechnerisch überdimensioniert und wurde mit einer Systemtemperatur von 80/60°C betrieben. 1991 fand ein Brennertausch statt (im Leistungsbereich 75-240 kW). Als Umwälzpumpen kamen noch hauptsächlich einstufige Pumpen ohne Drehzahlverstellung zur Ausführung. Die analoge Heizungsregelung war mit Außentemperaturführung und Zeitprogramm ausgestattet. Die zentrale Warmwasserbereitung erfolgte mittels eines direkt-gas-beheizten 90-Liter-Speichers aus dem Jahre 1991.



Bild 23: Heizungsanlage im Heizraum UG

Bild 24: Heizungsverteiler

Bild 25: Lüftungsgerät

Das Heizungsrohrnetz aus schwarzem Stahlrohr war mit Mineralwolle mit Stahlblechmantel gedämmt, welche hinsichtlich Dämmdicke und -wirksamkeit ebenfalls nicht mehr dem Stand der Technik entsprach. In den Räumen waren Heizkörper mit Thermostatventilen eingebaut. Für die innenliegenden Raumbereiche gab es eine mechanische Lüftungsanlage für die Zuluft (3.900 m³/h) inkl. Heizregister, ohne Wärmerückgewinnung.

Das Trinkwasserrohrnetz (verzinkt) und die Sanitärobjekte waren stark abgenutzt, teilweise durch Korrosion. Das Warmwassernetz erfüllte nicht mehr die aktuellen Anforderungen nach DVGW. Die Elektroleitungen und -ausstattungen (Leuchtstoffröhren) wirkten nach jahrelanger Benutzung verbraucht.



Bild 26: Sanitärbereich

Bild 27: Beleuchtungsausstattung

Bild 28: Heizkörpersituation an Außenwand

Die Benchmarks des Jahres 2004 über den Heizenergieverbrauch der Kindertagesstätten in Nürnberg (Bezug NGF) wurden im Rahmen der Erstellung eines Energiekonzepts, welches im März 2006 vorgelegt wurde, miteinander verglichen. Die Bandbreite der Ergebnisse bewegte sich zwischen 69 und 302 kWh/m²a, jeweils witterungsbereinigt. Es war deutlich erkennbar, dass die KiTa Reutersbrunnenstraße 40 mit 236 kWh/m²a in 2004 bei der Verbrauchsbewertung gegenüber anderen Kindertagesstätten in Nürnberg relativ schlecht abschnitt und dass Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich des energetischen Gebäudestandards notwendig waren, um eine nachhaltige Verbesserung zu gewährleisten.

Zum Vergleich:

Die Mittelwerte der Ages GmbH (Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse Klimadaten) lagen für Wärme bei 173 kWh/m²a, für Strom bei 19 kWh/m²a; die Mittelwerte des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) für Wärme bei 180 kWh/m²a, für Strom bei 12 kWh/m²a.

Die Verbräuche für Heizenergie, Strom und Wasser beliefen sich im Durchschnitt der Jahre 2004 bis 2007 (d.h. vor der Sanierung) auf 264 kWh/m²a (NGF), 25 kWh/m²a und 325 l/m²a und lagen damit wesentlich über den relevanten Vergleichswerten.

Der Primärenergiebedarf des Bestandsgebäudes überschritt das Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung 2007 für Neubauten um 29 %; der spezifische Transmissionswärmeverlust ebenfalls um 29 %.

3.2 Das Sanierungskonzept

3.2.1 Architektur

Aufgrund der schlechten Ausgangssituation (baulich, technisch, energetisch) wurde ein Konzept verfolgt, welches eine Generalsanierung mit vollständiger Entkernung vorsah.

In diesem Zusammenhang sollte mittels einer neuen Grundrissorganisation auch ein neues pädagogisches Konzept eingeführt werden. Die pädagogische Arbeit geschieht zukünftig im Kindergarten und im Kinderhort in „Offenen Gruppen“. Die Kinder sind nicht mehr in feste Gruppen eingeteilt; den Räumen wurden unterschiedliche Funktionen (z.B. Essen, Hausaufgaben, Bauen, Bewegen, Bibliothek, Computer, Medien) zugeordnet, in denen eine eher projektbezogene pädagogische Arbeit geleistet wird. Da es keine festen Gruppen mehr gibt, entfallen auch die gruppenweise zugeordneten Sanitärbereiche im Kindergarten. Die Gruppenräume sind gemäß ihrer Funktionalität unterschiedlich gestaltet und ausgestattet. Die Belange der Raumakustik bzw. des Schallschutzes wurden beachtet.

Das Erdgeschoss wird maßgeblich beeinflusst von der zentral gelegenen Aula/Halle, welche für Mittagspause und Veranstaltungen genutzt wird; die Gruppen- und Sanitärräume ordnen sich außen herum an. Im Obergeschoss erfolgt eine ähnliche Raumanordnung; hier gruppieren sich die Gruppen- und Sanitärräume um die zentrale Garderobe mit umlaufendem Flur. Die Fluchtwege wurden entsprechend der geltenden Brandschutzbestimmungen neu hergestellt (zwei getrennte bauliche Fluchtwege, abgetrennter Treppenraum).

Weiterhin wurden die Forderungen aus dem Gleichstellungsgesetz umgesetzt (barrierefreier Zugang mit Aufzug, Einbau von Behinderten-WCs).

Die Anzahl der zu betreuenden Kinder in Kindergarten und Kinderhort blieb unverändert.



Bild 29: Ansicht entkerntes Bestandsgebäude

Bild 30-31: Ansichten Stahlbeton-Skelettbau

Bestandteile des Sanierungskonzepts waren neben der Schadstoffsanierung die komplette wärmeschutztechnische Verbesserung der Gebäudehülle, d.h. Rückbau der Beton-Sandwich-Elemente und Einbau neuer gedämmter Leichtbaufassaden und wärmeschutztechnisch sehr guter Verglasungen und thermisch getrennter Profilkonstruktionen, Wärmedämmung des Flachdaches und der Dachterrasse sowie Wärmedämmung der Bodenplatte mit Vakuum-Isolations-Paneele (VIP). Besondere Bedeutung kam der Verringerung der Wärmebrückenwirkungen zu.

Den flächenmäßig größten Bereich im Erdgeschoss stellt die Bodenplatte auf Erdreich dar. Nur ein kleiner Bereich ist unterkellert. Im Keller befinden sich der Heiz- und Technikraum sowie ein Werkraum für den Kindergarten. Da eine Fußbodenheizung eingebaut werden sollte, die verfügbaren Aufbauhöhen jedoch äußerst knapp bemessen waren, bot sich der Einbau von hochwirksamer VIP-Dämmung (2 cm) an. Diese VIP-Paneele haben eine um etwa den Faktor 8 bis 10 verbesserte Dämmwirkung und sind deshalb für Dämm Lösungen, bei

denen wenig Platz vorhanden ist, besonders geeignet.

Durch die z.T. nicht bekannte Ausführung des Bestandsbaukörpers mussten manche wärmebrückenkritischen Situationen, wie z.B. an Sockeln, Stützen, Deckenauflagern, individuell gedämmt werden, auch z.B. mittels Einblasdämmung.

Hinsichtlich der im Bestand überaus unbefriedigenden Belichtungssituation trotz Fensterflächenanteil 45 %, wurden durch den Neuaufbau bzw. die Neugestaltung der Fassade deutliche Verbesserungen möglich. Die Fensterflächenanteile (nun 33 %) wurden in Abhängigkeit von der Nutzung zur Verbesserung der Tageslichtausbeute und der Reduzierung des Kunstlichtbedarfes optimiert und damit zusätzlich der visuelle Komfort für Kinder und Personal verbessert.



Bild 32: Innenausbau Mehrzweck/Turnen

Bild 33: Innenausbau Küche

Bild 34: Innenausbau Gruppenraum

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle konnte wie folgt verbessert werden:

Außenbauteile	Wärmedurchgangskoeffizient U in W/(m ² K)	Dämmdicken
Flachdach und Terrasse	0,17	22 cm Dämmung WLG 040
Außenwand inkl. Spielnischen	0,23	18 cm Dämmung WLG 035
Bodenplatte EG	0,35	2 cm VIP-Dämmung WLG 008
Verglasungen	1,10 Abstandhalter mit wärmeschutz- technisch verbessertem Rand- verbund nach DIN 4108-4	g-Wert 0,58
Pfosten-Riegel- Profilkonstruktionen	1,40	thermisch getrennte und gedämmte Profile
Fensterrahmen	1,40	
Wärmebrückenzuschlag	0,014	optimiert nach DIN 4108, Bl. 2
Luftdichtigkeit	mit Blower-Door-Test nachgewiesen, n ₅₀ 0,61 1/h	
A/V-Verhältnis	0,49	

Tabelle 4: Situation der Gebäudehülle nach der Sanierung

Als wichtiges energetisches Ziel war eine wesentliche Reduzierung des spez. Transmissionswärmeverlustes gegenüber dem Neubaustandard nach EnEV 2007 vorgesehen.

- Transmissionswärmeverlust vor Sanierung: 1,070 W/(m²K)
- Transmissionswärmeverlust EnEV-Sollwert: 0,830 W/(m²K)
- Transmissionswärmeverlust nach Sanierung: 0,370 W/(m²K)

Es wurde mit der Sanierung eine Unterschreitung von 55,4 % erzielt.

Auch auf die luftdichte Ausführung der Gebäudehülle wurde größtes Augenmerk gelegt. Am 23.03.2010 erfolgte die erste Luftdichtheitsmessung nach dem Blower-Door-Verfahren. Dabei wurden einige Undichtigkeiten gefunden; neben der Ausführung der Dampfbremse tauchten vor allem bei den vielen Außentüren (Gruppenräume mit Direktzugang in den Garten) die größten Mängel auf. Der Messwert bei Über- und Unterdruck von 50 Pa betrug im Mittel 1,0 1/h. Die im Messbericht enthaltenen Punkte wurden nachgearbeitet. Die zweite Messung erfolgte am 15.07.2010. Dabei wurden wiederum die Außentüren als problematische Bereiche identifiziert. Der Messwert lag nach der zweiten Messung bei im Mittel 0,7 1/h. Inzwischen wurden die Türen nochmals nachgebessert. Die dritte und damit Abschlussmessung erfolgte am 01.10.2010. Nach den wiederholten Nachbesserungen der ersten beiden Tests wurde mit der dritten Messung ein n_{50} -Wert von 0,61 1/h erreicht. Die städtischen Standards, die bei Gebäuden mit Lüftungsanlage einen Wert $< 1,0$ 1/h vorsehen, wurden damit eingehalten. Kleinere Mängel gab es jedoch noch immer bei einigen Außentüren im OG sowie bei der Tür zum Hausanschlussraum. Weitere Nachbesserungsarbeiten folgten.



Bild 35-36: 1. und 2. Blower-Door-Test
Bild 37: Außenliegender Sonnenschutz

Ein Sonnenschutz aus außenliegenden Textiljalousien wurde an den West-, Süd-, Ost-Fassaden angebracht und ergänzt das Sanierungskonzept. Die Automatiksteuerung über den EIB-Bus erfolgt über fassadenabhängige Helligkeitssensoren; als Schwellwerte sind 20 bzw. 30 kLux voreingestellt; ohne Zeitsteuerung.

Die Automatiksteuerung ist auf Wunsch der Nutzer außer Betrieb gesetzt, da die Behänge individuell per Taster auch zum Abdunkeln der Räume z.B. beim Mittagsschlaf der Kinder bedarfsabhängig verwendet werden.

Bei der Materialauswahl wurden die stadtinternen Anforderungen der UMWELT-VERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG (UVP) umgesetzt. Größte Aufmerksamkeit wurde dabei auf die Aspekte Nachhaltigkeit, Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit gelegt. So wurden z.B. die zugrundeliegende „UVP-Checkliste“ sowie die „Umweltrichtlinien der Stadt Nürnberg“ allen Ausschreibungen beigelegt. Für die neuen Fassaden und Fenster wurde Holz als nachhaltiger Baustoff verwendet, für den Dämmstoff Mineralwolle neben den VIP. Ein Bewertungsinstrument für graue Energie ist in Deutschland bisher nicht eingeführt, deshalb werden keine quantitativen Bewertungen dazu vorgenommen

3.2.2 Anlagentechnik

Im Rahmen der Vorplanung wurde ein Energiekonzept durch das Kommunale Energiemanagement erarbeitet. Ziel war ein ausführbares und wirtschaftliches Gesamtkonzept für die wesentliche Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäudehülle und Anlagentechnik.

Auf Basis einer energetisch optimierten Gebäudehülle wurden vier verschiedene Heizvarianten gegenüber der bestehenden Anlagentechnik des Gebäudes in Betracht gezogen, die auf

ihre Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit untersucht wurden.

a) Gas-Brennwertkessel mit Zentralwarmwasserbereitung (Basisvariante)

Vorteil: geringe Investitionskosten

Nachteile: höherer Verbrauch für Heizung/Warmwasser inkl. höherer CO₂-Emissionen

b) Gas-Brennwertkessel mit Zentralwarmwasserbereitung und Warmwasser-/Heizungsunterstützung durch Sonnenkollektoren

Vorteil: Senkung der Energiekosten und CO₂-Emissionen durch Nutzung solarer Energie

Nachteil: erhöhte Investitionskosten

c) Gas-Brennwertkessel mit Mini-KWK-Anlage (Gas-Stirling-Motor, Typ WhisperGen, bivalent-parallel Betrieb) mit Zentralwarmwasserbereitung

Vorteil: Senkung des Stromverbrauchs durch eigene Stromerzeugung (1 kW elektrisch)

Nachteile: höherer Verbrauch für Heizung/Warmwasser und höhere CO₂-Emissionen im Vergleich zur Basisvariante

d) Gas-Brennwertkessel mit Mini-KWK-Anlage (s.o.) mit Zentralwarmwasserbereitung und Sonnenkollektoren

Vorteile: Senkung der Energiekosten für Heizung/Warmwasser durch die Verwendung von solarer Energie und zusätzliche Stromgewinnung durch ganzjährigen Mini-KWK-Betrieb

Nachteile: hohe Investitionskosten und Erzeugung großer Wärmemengen im Sommer, die nicht genutzt werden können

e) Grundwasser-Wärmepumpe mit Zentralwarmwasserbereitung und Sonnenkollektoren

Vorteil: Nutzung mehrerer regenerativer Energiequellen

Nachteile: hohe Investitionskosten und geringere Verminderung der CO₂-Emissionen, da Strom als Energieträger verwendet wird.

In folgendem Diagramm sind die kumulierten Gesamtkosten, unter Berücksichtigung der Investitions-, Kapital- und Energiekosten sowie Amortisationszeit, dargestellt.

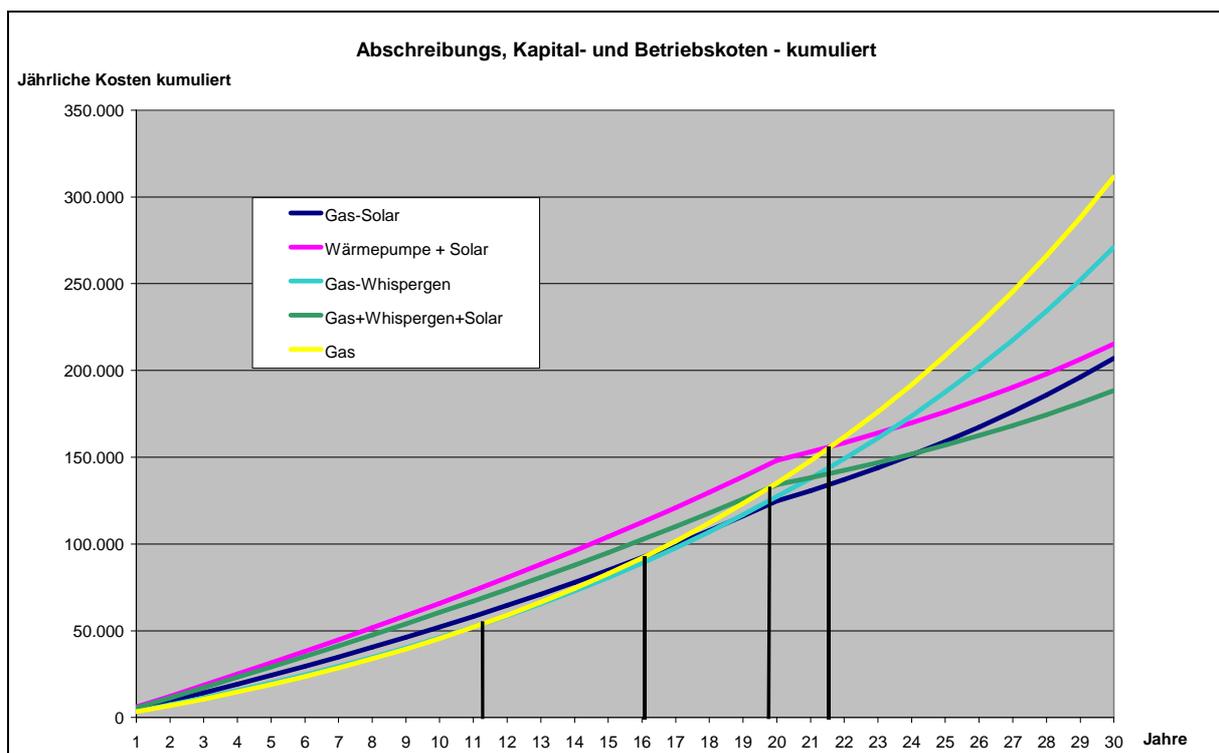


Diagramm 1: Kumulierte Gesamtkosten

Bei der Variante c) Gas-Brennwertkessel mit Mini-KWK-Anlage stellte sich die Amortisationszeit am günstigsten heraus (ca. 11 Jahre). Bedenken hierzu traten hinsichtlich der Lieferbarkeit des Aggregates auf, da von Seite des Herstellers kein eindeutiger Zeitpunkt genannt werden konnte (Stand 2006). Darüber hinaus waren die fragliche Zuverlässigkeit der ersten Serie und die ungeklärte Verwendung der Wärme im Sommer weitere Kriterien, die gegen diese Variante sprachen.

Die Varianten d) Gas-Brennwert-Solar-Mini-KWK und e) Wärmepumpe-Solar schieden aufgrund hoher Investitionskosten bzw. Amortisationszeiten (ca. 20 bzw. 21,5 Jahre) aus.

Den Zuschlag erhielt schließlich die Variante b) Kombination Gas-Brennwert-Solar mit der nächstgünstigsten Amortisationszeit von 16 Jahren. Diese zeigt auch eine erhebliche Reduzierung der CO₂-Emissionen gegenüber der Basisvariante (7,6 t/a) durch die solare Heizungsunterstützung und damit einer Verringerung der Laufzeiten des Brennwertkessels.

Als Hauptwärmeerzeuger wird ein Gas-Brennwertkessel (Buderus Logano Plus SB315 mit Gas-Vormischbrenner) und einer Nennwärmeleistung von 90,0 kW bei einer Systemtemperatur von Vorlauf/Rücklauf 50/30°C eingesetzt. Die Modulation liegt im Lastbereich von 36,6-90,0 kW. Der Normnutzungsgrad beträgt bis zu 98 % (Hs). Als zu realisierende Systemtemperatur sind 60/40°C vorgesehen (Nennwärmeleistung 87,8 kW). Eine zentrale Warmwasserbereitung versorgt mittels eines 300l-Speichers mit externem Wärmetauscher (Buderus Logalux SF300/LAP), welcher über die Solaranlage bzw. den Heizkessel beladen wird, die sanitären Zapfstellen. Elektronische drehzahlgeregelte Umwälzpumpen sorgen für einen effizienten Umlauf der Heizwasserströme.



Bild 38: Gasbrennwertkessel

Bild 39: Warmwasserbereitung

Bild 40: Neuer Heizungsverteiler

Durch das freie, optimal nach Süden orientierte Flachdach (0°), welches nur geringfügig verschattet ist (Bäume Süd-Ost), bot sich der Einsatz einer thermischen Solaranlage geradezu an. Die geringe Wärmemenge, welche zur Erwärmung des üblicherweise niedrigen Warmwasserverbrauchs in Kindertagesstätten benötigt wird, und ein Teil des durch die wärmeschutztechnische Sanierung der Gebäudehülle errechneten Heizwärmebedarfs kann solar abgedeckt werden. Hierfür sind gemäß Simulation ca. 36,5 m² Brutto-Kollektorfläche, bestehend aus einer durchgängigen Reihe von 14 Flachkollektoren (Typ Wagner-Solar EURO-L20AR, Transmissionskoeffizient 96 %) installiert. Diese sind mit einem Kies-Montagegestell auf dem Flachdach angebracht (Ausrichtung Süd 0°, Aufstellwinkel 35-40°). Um das solare Energieüberangebot des Sommers auch in den Übergangszeiten bzw. im Winter anstelle teurer fossiler Brennstoffe nutzen zu können, sind Langzeitpufferspeicher geeigneter. Bisher wurde dies mit herkömmlichen, großvolumigen Warmwasserspeichern bewerkstelligt.



Bild 41: Solaranlage Wagner EURO-L20AR

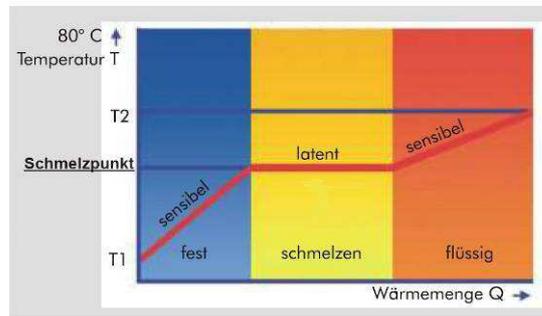


Bild 42: Wärmespeicherung durch Phasenwechsel

Eine relativ neue und platzsparende Möglichkeit bietet sich durch den Einsatz von Latentwärmespeichern an. Die Wärmezellentechnologie auf der Basis von Paraffin, einem sogenannten Phase Change Material (PCM), führt bei gleicher Speicherkapazität zu wesentlich kleineren Speichervolumen (nur noch etwa ein Drittel), da Paraffin bis zu viermal mehr Wärme (abhängig von $\Delta\vartheta$; bspw. zwischen 70 und 80°C) speichern kann als Wasser. Dies bedeutet auch, dass die Auskühlverluste merklich verringert werden.

Der Phasenwechsel führt zur Veränderung des Aggregatzustandes (von fest nach flüssig und umgekehrt) und erfolgt bei konstanter Temperatur (Schmelzenthalpie ca. 240 kJ/kg). Die nutzbare Wärme während des Schmelzvorganges „addiert“ sich auf der Zeitachse, somit wird neben der sensiblen Wärme auch die latente, innere Wärme (Bindungsenergie) des Paraffins genutzt. Weiterhin ist Paraffin alterungsbeständig und zyklenstabil.



Bild 43-44: Latentwärmезellen, ohne und mit Verkleidung

Bild 45: Tichelmannverrohrung

Für das Projekt wurden 22 Stück Wärmезellen (Typ Powertank WZ-1800-2WT) ausgewählt. Abmessungen: Höhe 1800 mm, Durchmesser 200 mm, Volumen 60 l, Gewicht 52 kg, mit 2 innenliegenden Wärmetauschern a 1,5 m² (Latenteingang/-ausgang).

Ein entsprechender Heizwasserpufferspeicher würde ca. 3.200 l Volumen umfassen.

Nutzbare Leistung (Latenteingang) je Zelle:

bei ΔT 5-15 K: 0,8-1,4 kW, d.h. ca. 30 kW (bei $\Delta T=15$ K)

bei ΔT 30 K: 5,2 kW, d.h. ca. 114 kW (bei $\Delta T=30$ K)

Der jährliche Ertrag ist abhängig von Sonneneinstrahlung, Abgabeenergie des Kollektorkreises sowie Speicher-, Rohrleitungs- bzw. Übertragungsverlusten.

Die einzelnen Wärmезellen aus paraffinummantelten Kupferröhren wurden zu Wärmезeichern verschaltet (Tichelmann) und vor Ort mit einer Leichtbau-Ummantelung (OSB-Platten mit Polystyrol-Dämmung) und dazwischen eingebrachter Mineral-Dämmschüttung (Splittgranulat, zur Verhinderung des Kamineffekts zwischen den Zellen) aufgebaut. Dabei kann die Aufstellung der Zellen liegend oder stehend, je nach Platzangebot, erfolgen. Im vorliegenden Fall ist die stehende Ausführung im Heizkeller realisiert.

Vom Hersteller empfohlen ist eine auf die Besonderheiten der Latentwärmespeicherung abgestimmte Regelung, welche über den Massendurchsatz bzw. den Rücklauf für eine optimale Verteilung und Nutzung der Solarwärme im Gesamtheizsystem (bivalent-parallel) sorgen soll. Dies wurde vom Planungsbüro bzw. der Regelungsfirma jedoch anders umgesetzt (s. Pkt. 3.2.4, S. 23).

Der Latentspeicher wird ausschließlich über die Sonnenkollektoren geladen. Der Basis-Wärmeerzeuger Gas-Brennwertkessel sollte dann im Sommer und auch in den Übergangszeiten teilweise abgeschaltet werden.

Der Einbau einer Fußbodenheizung in EG/OG empfahl sich aus folgenden Gründen:

- Im Rahmen der Sanierung wurde die Bodenplatte im Hauptgebäude neu gedämmt (Estrich wurde entfernt, Dämmung mit 2 cm Vakuum-Isolations-Paneelen).
- Durch die niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen können zusätzlich Heizenergie eingespart und regenerative Energiequellen besser ausgenutzt werden.

Dadurch wird weiterhin eine angenehme Behaglichkeit für die Aufsichtspersonen und die Kinder geschaffen, die öfters in den Gruppenräumen am Boden sitzen und spielen (Auslegung Sollwerte Raumtemperatur EG/OG 22°C).

Im Werkraum UG ist ein Heizkörper mit Thermostatventil installiert.



Bild 46: Montage VIP-Dämmung



Bild 47: Montage Fußbodenheizung

Um die Wärmeverluste bei der Speicherung, Verteilung und Übergabe zu verringern, war es notwendig, alle Trinkwarmwasser- und Heizungsleitungen sowie Speichereinrichtungen nach EnEV §14 zu dämmen. Außerdem wurde ein hydraulischer Abgleich der Heizungsrohrleitungen nach DIN 4701-10 durchgeführt.

Die Lüftung der Sanitärräume, der innenliegenden Halle im EG (Aula, 20 m³/hPers.) sowie der innenliegenden Garderobe inkl. umlaufendem Flur im OG wurde mit zwei Kompakt-Deckenlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung (ca. 65 %) realisiert (Typ Exhausto VEX 140). Die Volumenströme betragen 1.700 m³/h für das Erdgeschoss und 900 m³/h für das Obergeschoss. Der SFP-Wert (Specific Fan Power) liegt bei EG/OG ca. 2.150/2.000 Ws/m³. Die Vorerwärmung der Zuluft erfolgt über einen Kreuzstromwärmetauscher, die Luftnacherhitzung über einen eingebauten Plattenwärmetauscher, welcher von der Pumpenwarmwasserheizung versorgt wird (Leistung 6 kW).

Die Massenstromregulierung wird über Motorklappen gesteuert. Die Luftreinigung erfolgt mit Kurztaschenfiltern der Güte F7 (Außenluft) und F5 (Abluft). Das Einbringen und Absaugen der Luft erfolgt über Tellerventile in den Nasszellenbereichen und über Drallauslässe in den Nutzräumen. Die Außenluftansaugung und die Fortluft werden jeweils über Dach angesaugt bzw. abgeleitet.

Die Regelungseinstellungen am Lüftungsgerät sind folgendermaßen hinterlegt:

- MO-FR: 5:00-7:00 Uhr Vorspülung mit 75 % Leistung, 7:00-21:00 Uhr Vollbetrieb
 - SA: 8:00-22:00 Uhr Vollbetrieb
 - SO: 8:00-16:00 Uhr Vollbetrieb (Erfordernis mit Nutzer prüfen!)
 - Nachts: AUS
 - Sommer: Differenztemperatur- und zeitgesteuerte Nachtlüftung, Ein 2:00-4:00 Uhr
- Abhängig von MIN-/MAX-Außentemperaturgrenzwerten wird der Sollwert der Zulufttemperatur im Sommer gesenkt bzw. im Winter erhöht (AT-Kompensierung). Geplant war ursprünglich, über ein externes Anforderungssignal „Wärme“ von den beiden Lüftungsanlagen die Zubringerpumpe Lüftung am Heizungsverteiler zu starten. Dies wurde nicht realisiert, stattdessen läuft die Pumpe bis 22°C Außentemperatur erreicht sind.



Bild 48: Lüftungsgerät EG

Bild 49: Lüftungsgerät OG

Das Lüftungsgerät im OG wurde in die abgehängte Decke der Garderobe eingebaut. Für die Zugänglichkeit wurden Revisionsklappen integriert. Diese sind allerdings bis heute nicht zu öffnen, ohne die Gipskartondecke zu beschädigen; auch trotz mehrmaligen Versuchs der Wartungsmonteur bzw. des Hausmeisters. Geforderte Nacharbeiten der Trockenbaufirma unterblieben bis dato, so dass für die Monitoringphase die Funktion der Lüftungsanlage bzw. die Wärmemengenverbräuche nicht nachgeprüft werden konnten.

Im ganzen Gebäude wurden (Kompakt-)Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) angeschlossen. Die Beleuchtung in den Räumen ist durch die Aufteilung auf verschiedene Schaltgruppen individuell schaltbar, in den Gruppenräumen ist die Beleuchtung dimmbar. Im Flur EG gibt es eine Grundbeleuchtung mit Tastern; in den Flurzonen OG, im Treppenhaus und in den Außenanlagen wird die Beleuchtung über den EIB-Bus gesteuert, so dass vor allem in den Außenanlagen die Beleuchtung helligkeits- und zeitabhängig geschaltet werden kann (Ein 16.00 Uhr bis 9.00 Uhr inkl. Dämmerungsschalter mit Grenzwert 50 Lux). In den WCs sind Präsenzsteuerungen vorhanden.

Täglich von 18.00 bis 6.00 Uhr gibt es ein automatisches AUS, außer für Hauptgeräte.



Bild 50: Innenbeleuchtung Gruppenraum

Bild 51: Innenbeleuchtung Flur OG

Bild 52: Innenbeleuchtung Mehrzweck/Turnen

3.2.3 Beschreibung des Projekt- bzw. Bauablaufs

Die Planungen zur Generalsanierung der Kindertagesstätte starteten planmäßig im Herbst 2005 mit der Erfassung des Bestandes hinsichtlich Bauwerk und Anlagentechnik. Im Dezember 2005 wurden Thermografieaufnahmen vom Bestandsgebäude angefertigt. Auf Basis des bis März 2006 erstellten Energiekonzeptes wurden die Entwurfsplanungen zum Wärmeschutz der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung vorangetrieben.

Die energetische Bewertung der Bestandssituation sowie die Berechnungen für den geplanten sanierten Zustand auf Basis der DIN V 18599 führte ein externes Ingenieurbüro durch.

Im Bau- und Vergabeausschuss der Stadt Nürnberg wurde das Projekt am 12.12.2006 mit den geplanten energetischen Zielstellungen genehmigt.

Die Baugenehmigung wurde schließlich mit Bescheid vom 17.09.2007 erteilt. Besonders anspruchsvoll war in diesem Zusammenhang das Finden von angemessenen Lösungen für die zahlreich und kompliziert im Bestandsgebäude vorhandenen Wärmebrückenbereiche.

Mit der Schadstoffentsorgung (Zwischendecken, Gussasphaltestrich) wurde im April 2008 mit zeitlicher Verzögerung begonnen; problematisch war hier die schlechte Zugänglichkeit der Liegenschaft, welche sich auch auf den weiteren Baufortschritt negativ auswirkte.

Der Rückbau der Fassadenelemente begann im Mai 2008 und verzögerte sich wegen statischer und konstruktiver Schwierigkeiten erheblich.

Einzelne Problempunkte zeigten sich erst nach Abbruch der Fassadenelemente; diese wurden parallel zum Baufortschritt ausgearbeitet.

Im August 2008 begannen die eigentlichen Bauarbeiten mit den Dachabdichtungs- und –dämmarbeiten, dem Einbau der neuen Fassadenelemente und der Dämmung der Wärmebrückenbereiche. Im Herbst 2008 starteten die Rohinstallationen der technischen Gewerke.

Die Hochbau-Planungen wurden mit den letzten Ausführungs- und Berechnungsdetails hinsichtlich Wärmebrücken und Fußbodenaufbauten im Sommer 2009 abgeschlossen.

Im Jahr 2009 wurden die Arbeiten der Technikgewerke fortgeführt und es begannen die Innenausbauarbeiten mit Trockenbau, Tischler, Estrich und Bodenbelag.

Die Solaranlage wurde im Juli 2009 installiert; die Latentwärmespeicher im Dezember 2009. Hier machte sich ein hoher Zeitaufwand für die Verrohrung und die Befüllung des PCM-Speichers negativ bemerkbar.

Die Arbeiten am Bodenaufbau des Obergeschosses (Trittschalldämmung, Estrich) erstreckten sich von August bis November 2009 aufgrund langer Austrocknungszeit des Anhydrit-estrichs.

Im November und Dezember 2009 erfolgte der Einbau der Vakuumisulationspaneele im Fußboden des Erdgeschosses, unter dem Heizestrich und der neuen Fußbodenheizung. Diese Phase der Bauarbeiten wurde durch die Bauleitung sehr intensiv begleitet und auch eine thermografische Untersuchung durchgeführt, um Beschädigungen der VIP-Platten rechtzeitig entdecken und ggf. austauschen zu können.

Die Lieferung und der Einbau der Vakuumisulationspaneele nahm eine relativ lange Zeitspanne ein, da diese Technik für die Firmen noch Neuland war.

Zur Kontrolle der Luftdichtigkeit werden insgesamt drei Blower-Door-Tests durchgeführt (März, Juli, Oktober 2010); Ergebnisse: 1,0 1/h, 0,7 1/h, 0,61 1/h.

Im ersten Halbjahr 2010 waren die Bau- und Technik-Gewerke für den Innenausbau bis Juni 2010 tätig; die Abnahme der Haustechnik erfolgte im Juli 2010. Die Übergabe an die Nutzer erfolgte am 24.07.2010.



Bild 53: Ansicht West, Haupteingang

Bild 54: Ansicht Süd

Bild 55: Ansicht Nord-West, Dachterrasse mit Obergeschoss

Der Bezug durch die Nutzer erfolgte im August 2010. Die Monitoring- und Betriebsoptimierungsphase inkl. Arbeiten zur Mängelbeseitigung startete mit dem Nutzungsbeginn Anfang September 2010.

Im Dezember 2010 fand schließlich die offizielle Einweihung statt.

Eine ausführliche thermografische Untersuchung des sanierten Gebäudes wurde im Januar 2012 durchgeführt.

3.2.4 Messtechnische Begleitung

Um bei Neubauten und energetisch relevanten Bestandssanierungen das Optimum an Energieeffizienz zu erreichen, ist es von großer Bedeutung, die Objekte nach Inbetriebnahme durch ein systematisches Monitoring weiter zu begleiten. Dies erstreckt sich von der Erfassung und Bewertung der Verbräuche über die Optimierung der Regelungseinstellungen bis zu notwendigen Eingriffen in die Anlagenkomponenten, und bezieht das Nutzerverhalten direkt ein. Dies ermöglicht eine wirksame Minimierung der tatsächlichen Verbräuche.

Diese Betriebsoptimierung ist allerdings nicht mit der Mängelbeseitigung gleichzusetzen. Sie ist ein Instrument, um durch Beobachtung (vor Ort, GLT-Fernzugriff) den bereits niedrig geplanten Energieverbrauch möglichst weiter zu senken. Für einen effizienten Betrieb müssen auch z.B. unterschiedliche Wärmeerzeuger wie Gaskessel und Solaranlage aufeinander abgestimmt werden.

Die Monitoringphase erstreckt sich im Falle der Kindertagesstätte von der Fertigstellung im August/September 2010 bis ca. Mitte 2013 und wird von KEM durchgeführt. Danach wird das Gebäude in das laufende Energiecontrolling der Stadt Nürnberg übernommen.

Darüber hinaus ist die Analyse der thermischen Behaglichkeit, der Raumluftqualität und des Sommerverhaltens eine weitere wichtige Aufgabe, welche durch Vor-Ort-Begehungen bzw. -messungen unterstützt wird.

Für die messtechnische Begleitung wurde ein Zählerkonzept realisiert, welches neben den Hauptzählern für die Medien Gas, Strom und Wasser weitere Nebenzähler beinhaltet, wie z.B. Wärmemengenzähler für Gaskessel, Solaranlage, Latentspeicher, Warmwasserbereitung, Fußbodenheizung EG/OG, Lüftung EG/OG, Wasserzähler für Garten und Warmwasserbereitung, Stromzähler EG/OG je Beleuchtung bzw. je Steckdosen, Lüftung EG/OG sowie Heizung.

Eine zentrale Gewerke-übergreifende Gebäudeleittechnik (Schaltschrank mit Siemens Synco 700) dient der sicheren und effizienten Betriebsführung und führt alle TGA-Komponenten zusammen. Sie regelt und steuert den Betrieb der heizungs- und lüftungstechnischen Anlagen und verfügt über einen offenen Kommunikationsbus (EIB/KNX). Weiterhin werden Betriebs- und Störmeldungen erfasst und dokumentiert.

Mittels eines speziellen Bussegments (M-Bus) können Verbrauchswerte registriert und archiviert werden. Über eine Kommunikationseinheit können sämtliche, für den Anlagenbetrieb relevanten Messwerte sowie Statis abgerufen werden. Eine Trendaufzeichnung ist möglich.

Die digitale MSR-Anlage für die Heizung/Lüftung mit Schaltschrank im Heizraum UG umfasst folgende Komponenten:

- Außentemperaturgeführte Vorlauftemperaturregelung für die statischen Heizflächen und die Fußbodenheizkreise
- Regelung des Heizkreises Lüftung
- Regelung der Warmwasserbereitung.

Aufgrund unterschiedlicher Nutzungszeiten des Kindergartens und des Hortes wurden für die Fußbodenheizung zwei Regelkreise vorgesehen (EG/OG).

Die jeweiligen Raumnutzer können per Einzelraumsteuerung die Temperaturen der Fußbodenheizung verändern (Möhlenhoff Alpha-Raumtemperaturregler AR 2010S2).

Die Anforderung der einzelnen Lüftungsgeräte Kindergarten und Hort erfolgt von diesen direkt und wird per MSR an die Heizungsanlage weitergeleitet.

Geplant war in diesem Zusammenhang, die Anlagenbetriebsdaten (Messwerte, Verbrauchswerte) von der KiTa über das städtische Intranet an den PC des zuständigen Mitarbeiters des Kommunalen Energiemanagements (KEM) weiterzuleiten, um von diesem regelmäßig analysiert (z.B. Trends) und ausgewertet zu werden. Die Telefonverbindung per Modem wurde noch realisiert. Durch fehlerhafte Planung beim beauftragten TGA-Büro war keine Bedien- und Auswertungssoftware im Leistungsumfang der Firmen enthalten; trotz mehrmaliger Nachfrage bzw. Anforderung bei der Heizungs- bzw. Regelungsfirma wurde ein Nachtragsangebot hierüber nicht erstellt. Selbst die begrenzten Möglichkeiten der Regelgeräte vor Ort (z.B. Trends begrenzt einrichtbar) wurden nicht genutzt.

Diese Nichtleistung zog sich bis zum Ende des Berichtszeitraumes hin und ist auch auf den Bereich Solar-/Latentanlage übertragbar (s. S. 45). Somit war das Begleitmonitoring nicht in der beabsichtigten bzw. erforderlichen Tiefe machbar.

Geprüft wird nun, ob die Zählerwerte per Autocontrolling an KEM übermittelt werden können. Störmeldungen werden am Regelgerät angezeigt und gehen per SMS an den zuständigen Mitarbeiter der Abteilung Heizung/Klima/Lüftung.

Im Anhang ist die Übersicht über alle Zähler und Parameter sowie das MSR-Schema der Heizungsanlage beigelegt.

Eingebaut sind folgende Fühler:

Raumfühler Temp./Feuchte:	Siemens QFA2000
Raumtemperaturfühler:	Siemens QAA24
Raumluftqualitätsfühler:	Siemens QPA20
Kanaltemperaturfühler:	Siemens QAM21
Kabeltemperaturfühler:	Siemens QAP21.3
Tauchtemperaturfühler:	Siemens QAE2120
Witterungs(Außentemp.)fühler:	Siemens QAC22
Sonnenfühler:	Siemens QLS60



Bild 56: Siemens Synco 700

Für das Personal der KiTa wurde im März 2011 eine Einweisung in die Anlagentechnik durchgeführt. Für Lüftung und Elektro wurden Merkblätter mit Energiespartipps übergeben.

3.3 Ergebnisse der Messdatenauswertung

3.3.1 Bisherige Betriebserfahrungen Technische Gebäudeausrüstung

Seit Eröffnung der Kindertagesstätte wurden vom Betreiberteam und von den Mitarbeitern des Hochbauamtes verschiedene Erkenntnisse und Erfahrungen gesammelt. Problematische werden hier stichpunktartig aufgeführt (nähere Erläuterungen siehe unten):

- Regelungseinstellungen an die tatsächlichen Nutzerfordernisse anpassen
- verschiedene Räume im OG wurden nicht warm (Fußbodenheizung)
- hydraulische Unterversorgung des Heizkreises RLT
- wiederholt Luft bzw. zu wenig Druck im Solarsystem, Solarpumpe zu klein
- ungenügende Erträge aus dem Latentspeicher, Speichertemperaturen von 40-50°C werden nicht genutzt, häufiges Takten des Gaskessels zur Warmwasserbereitung
- Aufschaltung GLT über Intranet zu KEM nicht vorhanden bzw. nicht nutzbar

3.3.2 Erkenntnisse bezüglich des Raumklimas

Anhand punktuell durchgeführter Messwertaufzeichnungen konnte das Raumklima und damit das Energiekonzept überprüft und Handlungsanweisungen bzw. Empfehlungen zur weiteren Optimierung gegeben werden.

Einleitend als Kurzinfor Auszüge aus einer Bekanntmachung des Umweltbundesamtes zum Thema ‚Kohlendioxid‘ [UBA08]:

„Kohlendioxid (chemische Kurzbezeichnung: CO₂) ist ein farb- und geruchloses Gas. Seit 150 Jahren gilt die Konzentration von Kohlendioxid in der Raumluft als Indikator für die Luftqualität in Aufenthaltsräumen des Menschen.

... 1858 von Pettenkofer vorgeschlagenen Richtwert von 1000 ppm Kohlendioxid

... Danach gelten Konzentrationen unter 1000 ppm Kohlendioxid in der Raumluft als unbedenklich, Konzentrationen zwischen 1000 und 2000 ppm als auffällig und Konzentrationen über 2000 ppm als inakzeptabel.“

Als typische Folgen einer erhöhten CO₂-Konzentration sind verminderte Konzentrationsfähigkeit und verstärkte Müdigkeit zu nennen.

Die max. CO₂-Konzentration in der Garderobe OG betrug bisher 843 ppm.

3.3.2a Messzeitraum Juli 2011

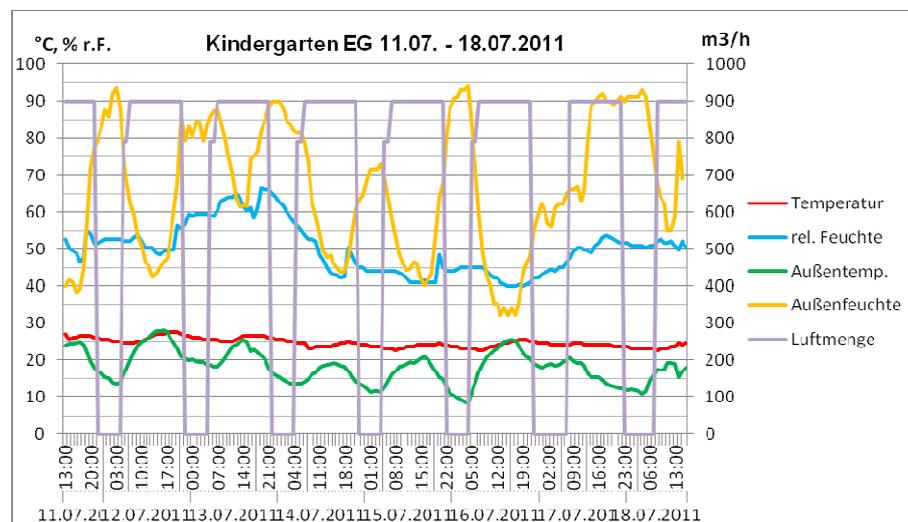


Diagramm 2: Raumklima KiGa EG Aula 11.-18.07.2011

Die mechanische Lüftung leistet über den gesamten Messzeitraum konstant 900 m³/h von 7 bis 21 Uhr; zwischen 5 und 7 Uhr erfolgt eine Vorspülung mit 75% Volumenstrom (gilt für Werktage). Eine Luftmengenverstellung durch die Nutzer erfolgte nicht.

Das weitere Lüftungsverhalten in den Büro-/Gruppenräumen des KiGa über Fenster erfolgt durch morgendliche Stoßlüftung und tagsüber bedarfsabhängige Kipp-/Stoßlüftung.

Die Raumtemperaturen erreichen am 12.07. spätnachmittags mit 27,5°C die höchsten Werte, dies entspricht ca. dem Außentemperaturniveau, und verlaufen weiterhin eher gutmütig entsprechend der (angesaugten) Außentemperatur bzw. dem (inneren) Wärmeeintrag durch 60-70 Kinder und max. 10 Erwachsene. Die Nachtlüftung als einzige mechanische Kühlmöglichkeit ist bei Freigabe im Sommer zwischen 2 und 4 Uhr und ab einem Temperatursollwert von 15°C (Mindest-Außentemperatur) eingeschaltet; im Messzeitraum erfolgte kein Betrieb.

Die Raumfeuchte liegt mit Werten zwischen 40 und 66% r.F. im normalen Bereich.

Eine Wochenendnutzung fand vermutlich nicht statt.

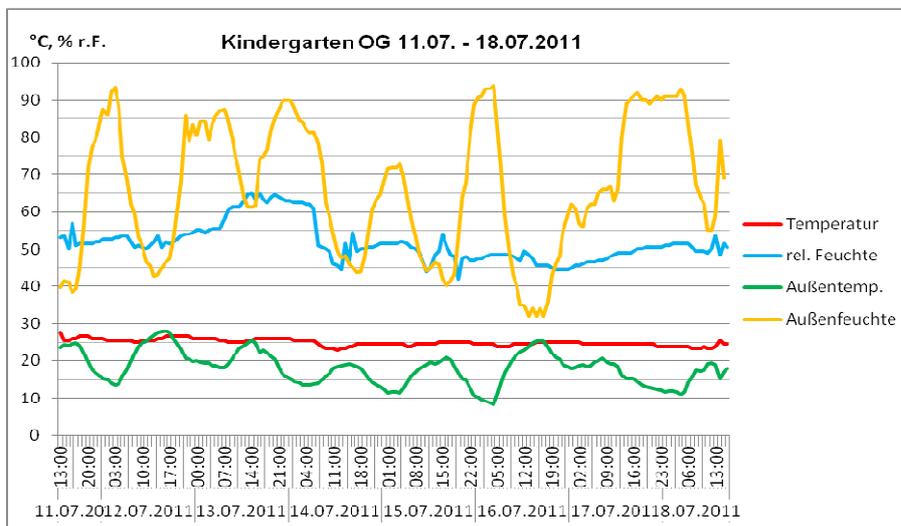


Diagramm 3: Raumklima KiHo OG Gruppenraum Theatergasse 11.-18.07.2011

Der Gruppenraum Theatergasse wird nur über Fenster bedarfsabhängig gelüftet, d.h. morgens um ca. 7 Uhr Stoßlüftung, vormittags bei wenig/keiner Nutzung sind die Fenster geschlossen, nachmittags in der Hauptnutzzeit von ca. 12 bis 16.15 Uhr werden sie z.T. auch länger gekippt.

Die Raumtemperaturen erreichen am 12.07. spätnachmittags mit 26,5°C die höchsten Werte und verlaufen den weiteren Messzeitraum über auf gleichmäßigem Niveau, annähernd unabhängig von der jeweiligen Außentemperatur. Tagsüber erfolgt ein Wärmeeintrag durch bis zu 25 Kinder und max. 3 Erwachsene.

Die Raumfeuchte liegt mit Werten zwischen 45 und 65% r.F. im normalen Bereich.

Eine Wochenendnutzung fand vermutlich nicht statt.

3.3.2b Messzeitraum Dezember 2011

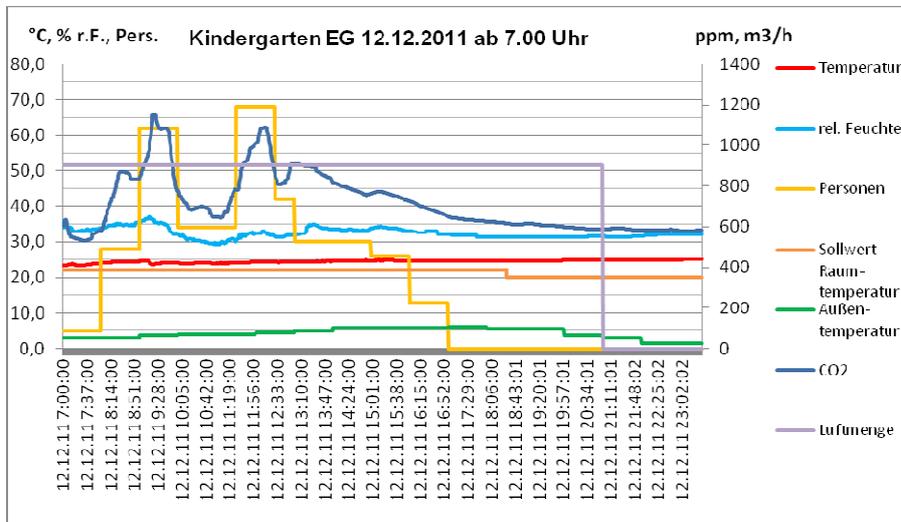


Diagramm 4: Raumklima KiGa EG Aula 12.12.2011

Die mechanische Lüftung wird von 7-21 Uhr mit konstant 900 m³/h Volumenstrom betrieben; der CO₂-Gehalt sinkt kurzzeitig nach Einschaltung der Lüftung bis zum Nutzungsbeginn.

Tagsüber werden anhand der Belegung CO₂-Spitzen ab ca. 9 Uhr (fast alle Kinder in KiGa-Aula angekommen, dann erfolgt die Verteilung in die Gruppenräume) und ab ca. 11.30 Uhr (Mittagessen in Aula) erreicht; der max. CO₂-Pegel liegt bei 1.150 ppm, der Sockelwert bei ca. 600 ppm. Nachmittags ab 14-15 Uhr sinkt die Kinderzahl durch nach Hause gehen.

Die Raumtemperaturen verlaufen inkl. Personenwärme zwischen 23,4 und 25,1°C, hierbei betragen die eingestellten Sollwerte für die Lüftung 21°C, für die Fußbodenheizung 22°C Tag bzw. 20°C Nacht (in der GLT), am entsprechenden Einzelraumregler 20°C Tag. Ein nächtlicher Rückgang der Raumtemperatur ist weder in obigem Diagramm noch bei den sonstigen Messungen EG feststellbar.

Die rel. Raumfeuchte bewegt sich zwischen akzeptablen 29 und 37% r.F..

Ab 17 Uhr beginnt die Arbeit des Putzpersonals im EG; hier ohne ersichtliche Auswirkungen auf CO₂-Pegel bzw. rel. Raumfeuchte.

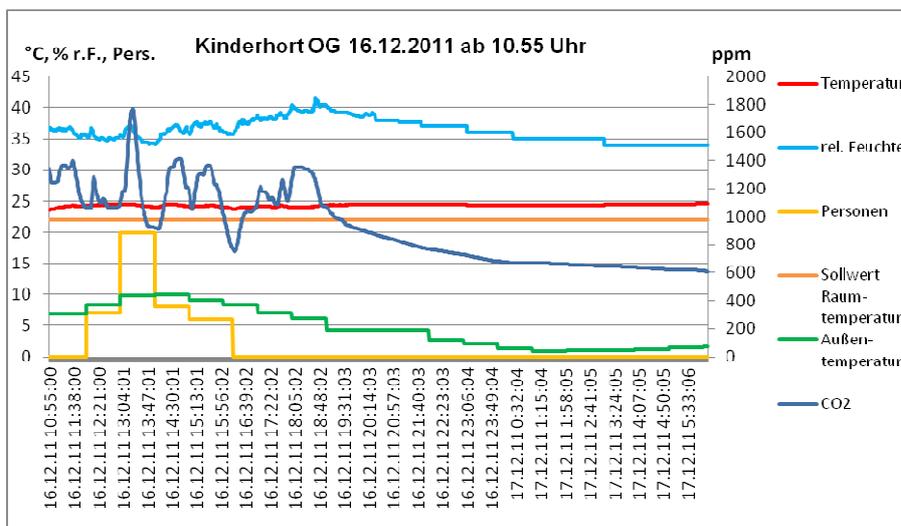


Diagramm 5: Raumklima KiHo OG Gruppenraum Theatergasse 16.-17.12.2011

Hier wird eine bedarfsabhängige unkontrollierte Lüftung über Fenster betrieben, wie in Pkt. 3.3.2a beschrieben.

Ausgehend von vormittäglichen Werten zwischen 1.100 und 1.400 ppm steigt der CO₂-Gehalt in der Mittagszeit bei Ankunft aller Hortkinder steil auf ca. 1.800 ppm an und geht bald darauf etwa auf das Niveau der Vormittagswerte zurück. Die normale Nutzungszeit endet ca. 16.15 Uhr. Ein weiterer CO₂-Hochpunkt ist ab 17.30/18.00 Uhr zu sehen, entweder durch das Putzpersonal im OG oder eine Teambesprechung. Der Sockelwert liegt bei ca. 600 ppm.

Die Raumtemperaturen verlaufen inkl. Personenwärme etwa gleichmäßig bei ca. 24°C, hierbei betragen die eingestellten Sollwerte für die benachbarte Lüftung Garderobe 20°C, für die Fußbodenheizung 22°C Tag/Nacht (GLT), am entsprechenden Einzelraumregler 22°C Tag. Bei diesem Gruppenraum wurde wiederholt über zu geringe Raumtemperaturen geklagt; geändert wurden Einstellungen an Hydraulik und Regelung Fußbodenverteiler.

Die Werte der rel. Raumfeuchte liegen zwischen 34 und 41% r.F. und sind in Ordnung.

3.3.2c Gruppenraum 'Theatergasse' im OG: CO₂-Simulation

Für diesen Gruppenraum soll eine (theoretische) CO₂-Simulation erstellt werden, um anhand verschiedener Fenster-Lüftungsszenarien die mögliche Qualität der Raumluft darzustellen.

Die Berechnungen wurden in einem Raum durchgeführt, welcher relativ hohe Belastungsgrade in kurzer Zeit verzeichnet. Die Raumnutzungszeiten beginnen ab 12.00 Uhr mit ca. 7-10 Kindern, ab 13.00 Uhr mit bis zu 25 Kindern und ab 15.00 Uhr mit ca. 10-15 Kindern bis zum Ende der Belegung um 16.15 Uhr. Die Kinder sind zwischen fünf und elf Jahre alt; die Aktivität bewegt sich zwischen ruhig sitzender und stehender leichter Bewegung.

Die CO₂-Abgabe pro Person wird zwischen 10 l/h für 6-jährige Kinder und 22 l/h für Erwachsene kalkuliert. Für Kinder zwischen 7 und 17 Jahren wird die Abgabe von CO₂ linear aus diesen Daten interpoliert.

Das Raumvolumen beträgt 160,85 m³, es sind fünf eher dichte, fast neuwertige Fenster mit einer lichten Breite von 1,14 m und einer lichten Höhe von 1,14 m vorhanden. Die Öffnungsweite beim Kippen der Fenster beträgt ca. 8 cm.

Die CO₂-Berechnungen wurden mithilfe des „Simulationsprogramms zur Berechnung von CO₂-Konzentrationen in Innenräumen und Schulen“ (Version 2.1) durchgeführt, Herausgeber ist der Innenraum Mess- und Beratungsservice in Wien/Österreich.

Folgende Rahmenbedingungen wurden angesetzt:

- $\Delta T=18K$ zwischen Raumtemperatur und mittlerer Außentemperatur (Winterfall)
- Wind 2 m/sec.
- Morgens 7.00 Uhr 0,5h Stoßlüften, 3xFe offen, Luftwechsel (LW) 15

Für die Hauptnutzung ab 13.00 Uhr werden 3 verschiedene Lüftungsszenarien dargestellt:

- A) CO₂-Verlauf 1xFe gekippt, LW 0,46
- B) CO₂-Verlauf 3xFe gekippt, LW 1,38
- C) CO₂-Verlauf 1xFe gekippt + 1xFe Stoßlüften 0,5h (14.00-14.30 Uhr) mit LW 5

Die Türe zum Flur ist jeweils geschlossen.

- CO₂-Konzentration Außenluft ca. 380 ppm
- CO₂-Konzentration vorhanden ca. 600 ppm (Sockelwert), vgl. Messungen Dez. 2011

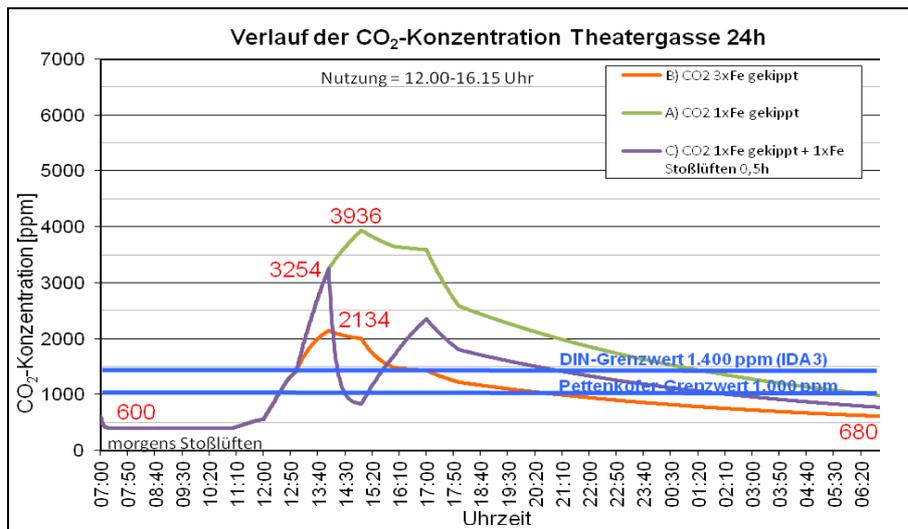


Diagramm 6: CO₂-Verlauf über 24h Gruppenraum OG Theatergasse

Anhand des Diagramms zeigt sich, dass durch das morgendliche Stoßlüften der CO₂-Sockelwert von 600 ppm auf 400 ppm gesenkt werden kann. Ab Nutzungsbeginn steigt der CO₂-Pegel an und erreicht bei Szenario A mit einem Kipfenster um ca. 15.00 Uhr das Maximum mit 3.936 ppm (um 14.00 Uhr 3.254 ppm). In Szenario B mit 3 dauerhaft gekippten Fenstern wird um ca. 14.00 Uhr der Hochpunkt mit 2.134 ppm erreicht. Bei Szenario C wird ebenfalls um ca. 14.00 Uhr das Maximum erreicht (3.254 ppm), anhand des nachfolgenden Stoßlüftens 0,5h kann der Wert deutlich abgesenkt werden, steigt aber bis ca. 17.00 Uhr wieder auf 2.351 ppm. Nach der Nutzung flacht bei diesen Szenarien der CO₂-Pegel über die Nachtstunden ab auf ca. 600-680 ppm als Minimum.

Auf die reale Nutzung des Beispielraumes der KiTa übertragen bedeutet das, dass während winterlicher Umgebungstemperaturen und folglich eher geringen Lüftungsambitionen der Pettenkofer-Grenzwert von 1.000 ppm laut obiger Simulation bei allen Szenarien relativ schnell überschritten wird, d.h. innerhalb ca. einer Stunde ab Hauptnutzzeit.

Nur bei Szenario B wird die ‚geringste‘ Überschreitung erreicht. Diese energetisch ungünstige Lüftungsmethode der Dauer-Kipplüftung im Winter wird jedoch von KEM nicht empfohlen. Grundsätzlich sollte für das Lüften eindeutig die Stoßlüftung oder auch die Querlüftung, falls möglich, bevorzugt werden. Durch die regelmäßige Stoßlüftung, jeweils stündlich 5-10 min., dazu noch eine Lüftungseinheit vor Nutzungsbeginn und ein Abschluss-Stoßlüften kann der Grenzwert 1.000 bis 1.400 ppm (Norm DIN EN 13779-2007) durchaus eingehalten werden, sichtbar gemacht z.B. durch die sogenannte Lüftungsampel.

Gemäß dem „Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulen“ des Umweltbundesamtes (Berlin, 2008) und der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.6 (2012) ist bei Überschreiten des CO₂-Wertes von 1.000 ppm grundsätzlich zu Lüften, bei CO₂-Werten > 2.000 ppm verstärkt zu Lüften oder die Personenzahl im Raum zu reduzieren.

3.3.2d Thermografieuntersuchungen

Nach Fertigstellung des Gebäudes wurden zur prinzipiellen Qualitätskontrolle vom Kommunalen Energiemanagement Thermografieaufnahmen durchgeführt.

Die Aufnahmen (nachfolgend als Beispiel eine Aufnahme des Haupteingangs) zeigen bei einer Außentemperatur von ca. 2°C keine signifikanten Wärmeverluste der Gebäudehülle und insgesamt für das Gebäude einen sehr guten Wärmeschutzstandard.

Der komplette Thermografiebericht vom 25.01.2012 ist im Anhang ersichtlich.

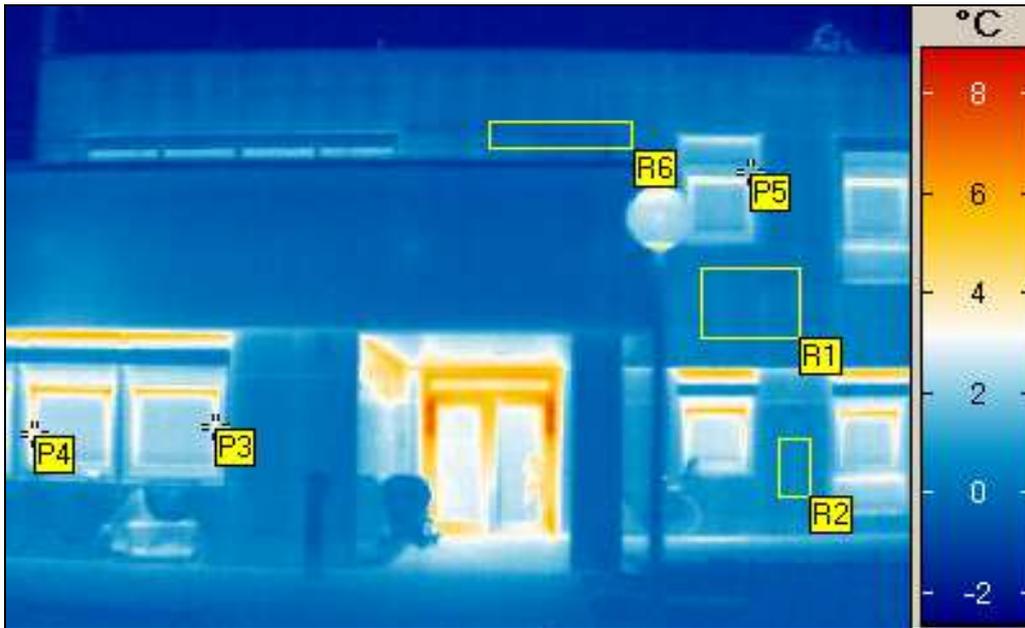


Bild 57: Thermografie Westfassade Haupteingang

3.4 Energieverbräuche in den ersten Betriebsjahren

Die eigentliche Nutzung der Kindertagesstätte startete im Kindergarten EG (NGF 701,5 m²) zum 31.08.2010, im Kinderhort OG (NGF 544,1 m²) zum 07.09.2010.

Da die erste Zählerablesung bei der Begehung durch KEM am 15.09.2010 durchgeführt wurde, wird als rechnerischer Beginn für das erste Betriebsjahr dieses Datum angesetzt.

Die Zielwerte der Generalsanierung für Wärme und Strom werden im ersten und zweiten, hochgerechneten Betriebsjahr noch nicht erreicht. Der deutliche Unterschied jedoch auch schon dieser Ergebnisse gegenüber den Verbräuchen des Bestandsgebäudes ist erkennbar, vgl. Diagramm 7. Allein schon die Festlegung der anspruchsvollen Ziele und deren planerische Umsetzung reduzieren die Verbräuche gegenüber (EnEV)-Standardplanungen erheblich. Die höheren Verbräuche in diesen beiden Betriebsjahren gegenüber der Zielsetzung belegen allerdings die Notwendigkeit der (weiteren) Optimierungs- und Monitoringphase.

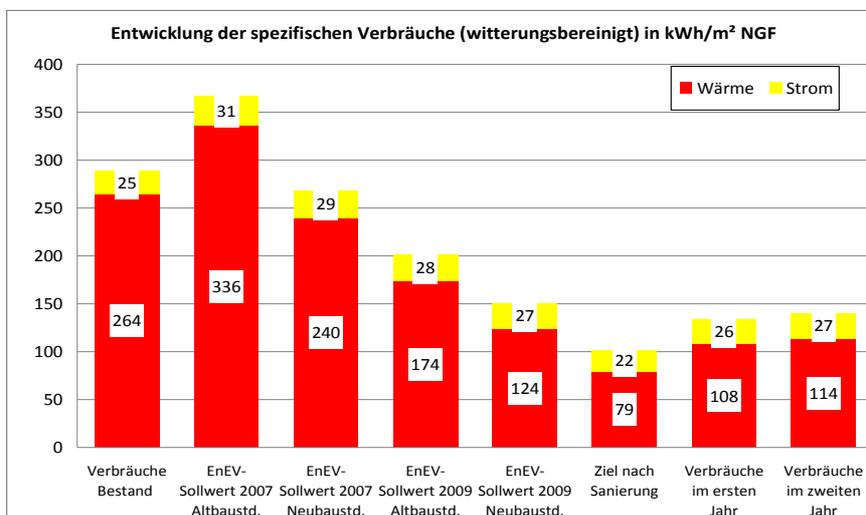


Diagramm 7: Spezifische Bedarfe und Verbräuche für Wärme und Strom

3.4.1 Elektrische Energie

Der Stromverbrauch in der KiTa wird über die Einspeisung des städtischen EVU (N-ERGIE AG) mit eigenem Zähler sowie einem separaten Messwandler-Unterzähler gemessen.

Den Stromverlauf von 15.09.2010 bis 30.04.2012 zeigt nachfolgendes Diagramm.

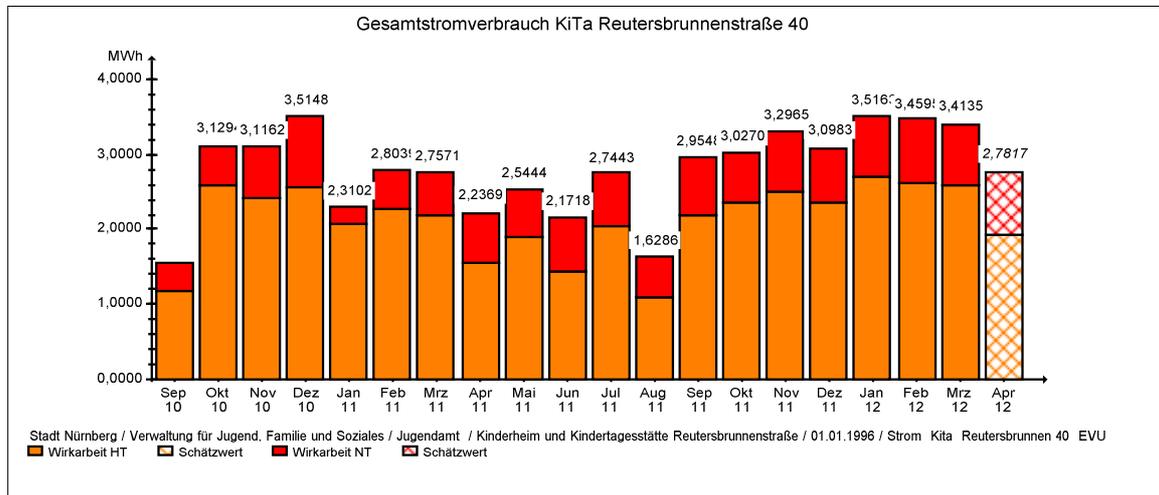


Diagramm 8: Gesamtstromverbrauch unterteilt in Haupt- und Niedertarif (Nachtstrom)

Insgesamt ergibt sich ein Stromverbrauch von

- 33,48 MWh (für das erste Betriebsjahr: Zeitraum 15.09.10 bis 30.09.11), d.h. 25,85 kWh/m² (NGF)
- 34,64 MWh (für das zweite Betriebsjahr hochgerechnet: Zeitraum 01.10.11 bis 30.09.12), d.h. 26,75 kWh/m² (NGF).

Der Gesamtstromverbrauch der KiTa ist monatsweise aufgetragen und in Haupt- und Nebentarif unterteilt. Wie zu erwarten wird der Hauptteil des Stromverbrauches über den Hauptstromtarif abgerechnet, da der Niederstromtarif wochentags erst ab 22.00 Uhr, samstags ab 14.00 Uhr und sonn-/feiertags ganztägig aktiv wird. Dies sind jedoch nicht die Hauptnutzungszeiten der Kindertagesstätte. Der über Niedertarif abgerechnete Teil begründet sich durch kontinuierlich genutzte Geräte, die über die Nacht und am Wochenende in Betrieb sind, wie zum Beispiel Faxgerät, Kühlschränke, Umwälzpumpen Heizung und die Außen- bzw. Sicherheitsbeleuchtung.

Die Verbräuche für Strom liegen für das erste Betriebsjahr mit 25,85 kWh/m² noch über den Werten des Bestandsgebäudes mit 24,6 kWh/m²a; dies zeigt den höheren elektrischen Ausstattungsgrad sowie den weiteren Ansatz hinsichtlich einer Verbrauchsoptimierung.

Im 2. Betriebsjahr ergeben sich hochgerechnet noch etwas höhere Verbräuche.

Deutlich wird im obigen Diagramm auch, dass die Verbräuche ganzjährig ähnlich hoch waren. Die Monate August (Verbrauchsrückgang durch Ferienzeit KiTa von 6.8. bis 4.9.) sowie z.T. die Wintermonate (Verbrauchsanstieg durch Heiz- und Beleuchtungsbedarf, Dezember 2010 und Januar 2012 Kälteeinbruch) zeigen typische Abweichungen.

Durch weitere Unterzähler kann der Stromverbrauch des Gebäudes einzeln erfasst und aufgeteilt werden auf die Bereiche Fettabscheider, Heizung, Lüftung, Beleuchtung und Steckdosen (gültig für Zeitraum 15.09.2010 bis 30.09.2011).

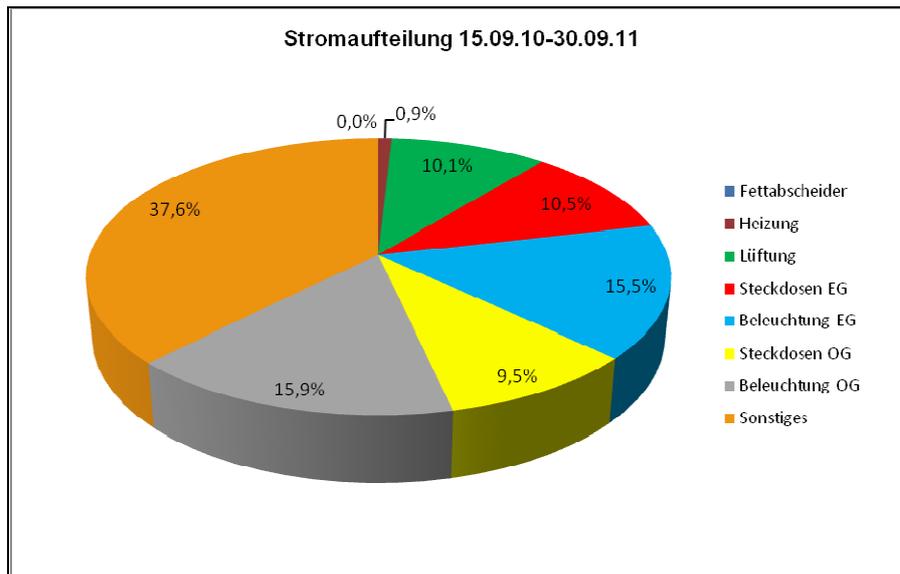


Diagramm 9: Stromverbrauchsaufteilung

Dieses Diagramm zeigt deutlich die Strom-Hauptnutzungen:

Der Anteil Sonstiges nimmt mit 37,6 % den größten Raum ein. Dessen Anlagen (Detaillierung s.u.) werden zwar vom Gesamtstromzähler erfasst, jedoch nicht von den installierten internen Zwischenzählern.

An zweiter Stelle folgt die Beleuchtung EG/OG mit 31,5 %, d.h. hieraus wird allein ca. ein Drittel des Stromverbrauchs generiert. Anschließend folgen alle an Steckdosen angeschlossenen Geräte im EG und OG (20 %). Die Stromverbräuche für Lüftung (10,1 %) und Heizung (0,9 %) fallen demgegenüber weit weniger ins Gewicht.

Der Fettabscheider zeigt 0 %; hier ist das Warngerät für die Füllstandsanzeige offensichtlich nicht angeschlossen, das Kabel hängt lose in der Luft.

3.4.1a Teilbereich Sonstiges

Mehr als ein Drittel des Stroms wird über Sonstiges verbraucht (12,58 MWh, 9,72 kWh/m² NGF). Hierunter verbergen sich:

- Aufzug
- Sicherheitsanlagen (Brandmelde-, Einbruchmelde-, Gaswarnanlage, Entrauchungssteuerung, Sicherheitsbeleuchtung)
- Hebeanlage im Heizraum (2x Tauchpumpen a 0,9 kW, Warngerät)
- Außenbeleuchtung (10x Mastleuchten 35 W, 14x Fassadenleuchten 18 W)
- EDV-Server im Heizraum
- Licht und Steckdosen Technikräume/Werkraum und Treppenhaus
- Sonnenschutz
- Kühl- und Gefrierschränke
- Faxgerät.

Aufgrund der Verschiedenartigkeit erfolgt keine weitere separate Zählung; o.g. Verbraucher werden auch nicht von der Nachtabschaltung erfasst.

Stromeinsparungen sind hier schwer zu realisieren, da es sich z.T. um Basisanlagen handelt, welche einen gewissen Sockelverbrauch erzeugen (Sicherheit, Server, Fax, Außenlicht). In Teilbereichen sind Einsparungen nutzungsabhängig möglich; hier erfolgt die

weitere Nutzeraufklärung über Begehung bzw. Infoblätter (z.B. ist das Licht im Treppenhaus tagsüber wiederholt an, obwohl genügend Tageslicht zur Verfügung steht).

3.4.1b Teilbereich Beleuchtung

Die Beleuchtung mit einem Anteil von 31,5 % am Stromverbrauch soll detaillierter betrachtet werden. Im Betrachtungszeitraum 15.09.10 bis 30.09.11 wurden gesamt 10,53 MWh Strom (8,13 kWh/m² NGF) für sämtliche Beleuchtungseinrichtungen verbraucht.

Dies teilt sich folgendermaßen auf in Erdgeschoss und Obergeschoss:

EG 5,2 MWh (7,41 kWh/m² NGF)

OG 5,3 MWh (9,80 kWh/m² NGF)

Dies ist erstaunlich, da das hellere Obergeschoss mit der Hauptnutzung 12:00 bis 16:15 Uhr eher weniger verbrauchen dürfte.

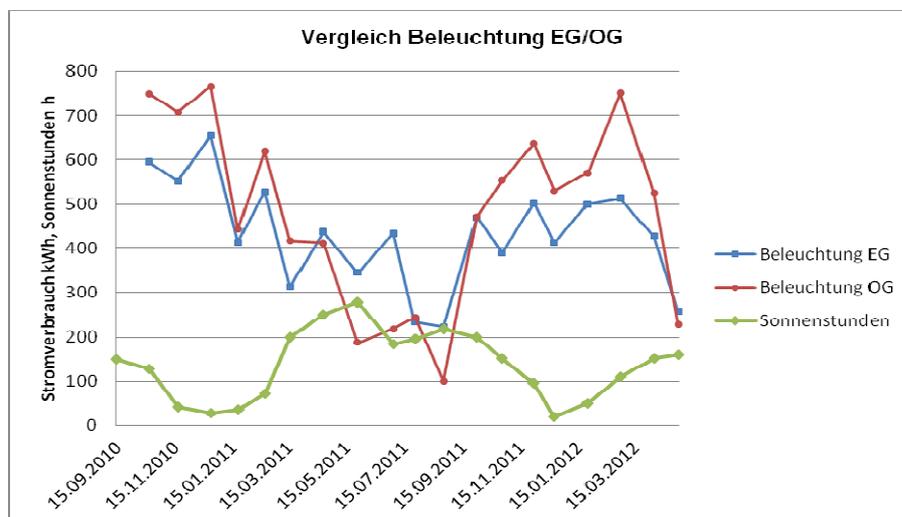


Diagramm 10: Vergleich des Stromverbrauches der Beleuchtung EG/OG

Die Beleuchtung im EG und OG ist vom Jahresstromverbrauch gesehen fast identisch. Die Beleuchtung ist abhängig von Tageslichtverhältnissen, Ferienzeiten und Nutzerverhalten. Somit sollten sich im Herbst und Winter, wie im Diagramm zu sehen, die größten Verbräuche einstellen. Deutlich bei beiden Geschossen ist die Ferienzeit im August.

Während im EG der Stromverbrauchsverlauf und damit der Beleuchtungsbedarf über das Jahr eher gleichmäßiger ausfällt, durch die innenliegende Aula und der Teil-Verschattung der außenliegenden Gruppenräume, ist dieser beim OG deutlich ausgeprägter. Hier wird im Sommer durch die höheren Tageslichtgewinne weniger Strom verbraucht; im Winter sind die Verbräuche allerdings z.T. deutlich höher. Dies rührt zum einen daher, dass die Hauptnutzung im OG bis 16.15. Uhr dauert, wohingegen im EG viele Kinder bereits ab 14.00 Uhr abgeholt werden und folglich Räume nicht beleuchtet werden müssen. Zum anderen werden im KiHo OG viele Veranstaltungen an Wochenenden durchgeführt (Fortbildungen, Familienfeiern), welche einen dementsprechenden höheren Verbrauch bewirken.

Verbesserungsbedarf besteht bei den Toiletten in EG und OG, wenn bei offenen Türen der Präsenzmelder Bewegung erkennt und die Beleuchtung dauerhaft einschaltet. Weiterhin ist das Licht im Treppenhaus öfters auch bei ausreichendem Tageslicht in Betrieb.

Anhand eines Beispieltages wurde von 7 bis 17 Uhr für den KiGa im EG der Stromverbrauch stündlich durch die Nutzer aufgezeichnet, jeweils separat für Beleuchtung und Steckdosen.

Anhand dieser Aufzeichnungen soll exemplarisch der Zusammenhang zwischen Tageslicht, Belegung und Strombedarf aufgezeigt werden.

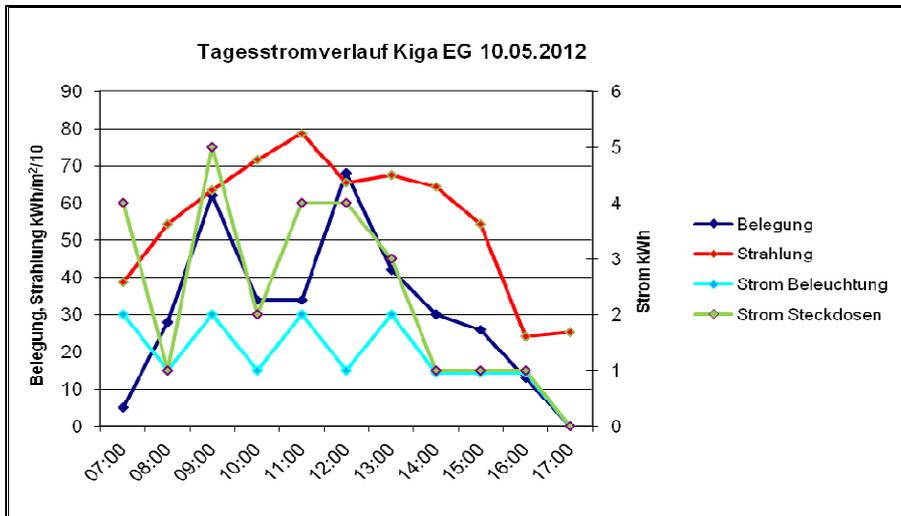


Diagramm 11: Tagesstromverlauf KiGa EG 10.05.2012 (Kurve angepasst)

Der Stromverbrauch für die Beleuchtung beträgt insgesamt 14 kWh, wobei kontinuierlich 1 bis 2 kWh pro Nutzungsstunde über den Tag hinweg offensichtlich unabhängig von den tatsächlichen Tageslichtverhältnissen verbraucht werden. Genutzt werden die innenliegende Aula vormittags und mittags, die außenliegenden Gruppenräume vormittags und reduziert nachmittags. Bei einer Begehung der Aula (30.04.2012, 14.00 Uhr, Solarstrahlung 673,1 W/m²) wurde die tatsächliche Beleuchtungsstärke nachgeprüft. In der Raummitte waren ca. 35 lx messbar, mit zugeschaltetem Licht ca. 425 lx, mit Deckenschmuck 230 lx.

Der Stromverbrauch an den Steckdosen (insgesamt 26 kWh) verläuft parallel zur Belegung, inkl. Mittagspause, und beträgt bis zu 5 kWh pro Nutzungsstunde.

Die max. Belegung an diesem Beispieltag beträgt 60-70 Kinder und 5-10 Erwachsene. Da der Sonnenschutz manuell eingestellt wird, ohne Rückmeldung zur Steuerung, ist hier keine Zustandskurve darstellbar.

Nachfolgend der Blick auf die Ausstattung des Beispiel-Gruppenraumes Theatergasse OG: Im Gruppenraum (54,5 m²) sind runde Deckeneinbau-Leuchtstofflampen mit EVG (9 Stück, je 60 W) vorhanden, welche dimmbar geschaltet werden können. Es sind mehrere Schaltkreise vorhanden. Die Nennbeleuchtungsstärke beträgt 300 lx. Der Beleuchtungskennwert liegt hier bei 3,30 W/m²100lx.

Bei einer Begehung (30.04.2012, 14.00 Uhr, Solarstrahlung 673,1 W/m², Sonnenschutz oben, Ausrichtung SO) wurde die tatsächliche Beleuchtungsstärke nachgeprüft. In der Raummitte waren ca. 280 lx messbar, mit zugeschaltetem Licht ca. 580 lx.

3.4.1c Teilbereich Steckdosen

Im Betrachtungszeitraum 15.09.10 bis 30.09.11 wurden gesamt 6,69 MWh Strom (5,17 kWh/m² NGF) für sämtliche an Steckdosen angeschlossenen Stromverbraucher aufgewendet.

Dies teilt sich folgendermaßen auf in Erdgeschoss und Obergeschoss:

EG 3,5 MWh (5,01 kWh/m² NGF)

OG 3,2 MWh (5,84 kWh/m² NGF)

Es zeigt sich hier ein eher gleichmäßiger Verbrauch in beiden Nutzergeschossen; deutlich ist die Ferienzeit August, hier sind EG und OG zeitversetzt geschlossen.

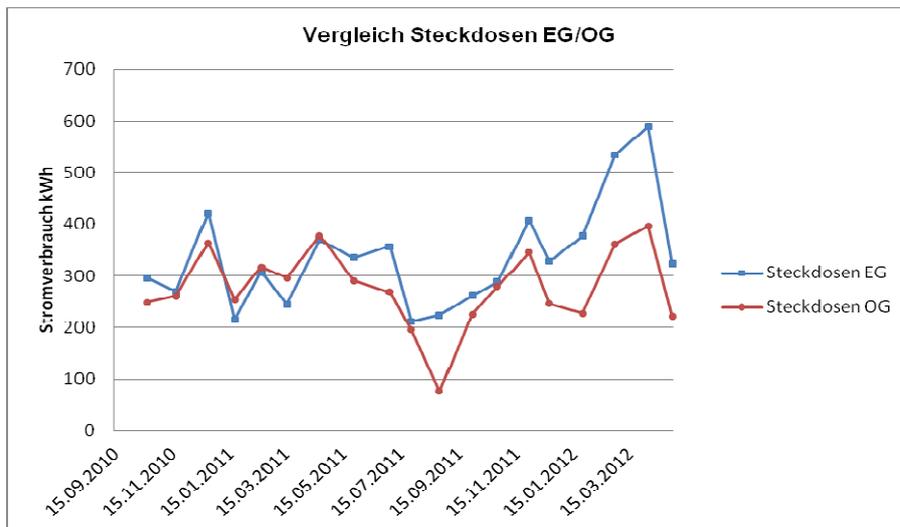


Diagramm 12: Vergleich des Stromverbrauches der Geräte an Steckdosen EG/OG

In beiden Geschossen ist an den Steckdosen eine ähnliche Ausstattung angeschlossen, wie z.B. Spülmaschinen, Küchenherde, Kaffeemaschinen und Computer. Im EG haben die Geräte eine Anschlussleistung von rund 37 kW, im OG von etwa 35 kW. Eine Liste der angeschlossenen Stromverbraucher befindet sich im Anhang.

Von einem Cateringservice werden 3x pro Woche ca. 130 Essensportionen (EG 60, OG 70) angeliefert und vor Ort aufgewärmt; von ehrenamtlichen Helfern wird 2x pro Woche das Essen zubereitet. Die Gewerbespülmaschinen (je 9,4 kW) werden für Frühstück, Mittagessen und Nachmittagssnack bedarfsabhängig eingeschaltet.

Für Februar und März 2012 ist ein deutlicher Stromanstieg in beiden Geschossen ersichtlich. Auf Nachfrage stellte sich heraus, dass neben baulichen Arbeiten in der Küche EG (1. Märzwoche) in den Küchen insgesamt 3 Wärmeöfen (Wasserbad) zur Erwärmung des angelieferten Essens neu aufgestellt und mittags verstärkt genutzt wurden. Diese verfügen über insgesamt 5,2 kW Anschlussleistung (Laufzeit jeweils 2-3 Stunden).

Folgende beispielhafte Stromspartipps wurden an das Nutzerpersonal weitergegeben:

- Bitte denken Sie daran, die künstliche Beleuchtung abzuschalten, wenn im Verlauf des Vormittags das Tageslicht zunimmt. Jalousien und dergleichen können meist so eingestellt werden, dass noch ausreichend Tageslicht in den Raum fällt.
- In ungenutzten Räumen bitte das Licht ausschalten.
- Bitte stellen Sie die Kühlschränke nicht zu kalt ein. Leere Kühlschränke sollten Sie ausschalten.
- In längeren Nutzungspausen ist es sinnvoll, die PC-Monitore auszuschalten; die PC's müssen deswegen nicht heruntergefahren werden. Für PC und Monitor Steckdosenleisten anbringen.
- Kopiergeräte sollten nachts ausgeschaltet werden.

Vor Ort wurden folgende beispielhafte Stromspartipps nachgeprüft:

- Bitte beachten Sie: Bildschirmschoner sparen keine Energie → iO.
- Verwenden Sie Kaffeeautomaten mit Abschaltautomatik und Isolierkanne → iO.

- Bitte stellen Sie die Kühlschränke nicht zu kalt ein, vermeiden Sie langes Öffnen und schalten Sie leere Kühlschränke aus. → iO., eingestellte Temperatur 4-6°C, neue Geräte in Qualität A+ bzw. A++.

3.4.1d Teilbereich Lüftung

Im Betrachtungszeitraum 15.09.10 bis 30.09.11 wurden gesamt 3,38 MWh Strom (2,61 kWh/m² NGF) für die Lüftungsanlagen in EG und OG verbraucht.

Um den Zusammenhang zwischen Luftvolumenstrom, welchen die Nutzer am Regelgerät in 10 Stufen einstellen können, und Stromverbrauch zu ermitteln, wurde am Lüftungsgerät EG (0 bis 1.700 m³/h) eine Wirkleistungsmessung durchgeführt.

Vom Hersteller werden 1,6 kW als elektrische Gesamtleistungsaufnahme angegeben.

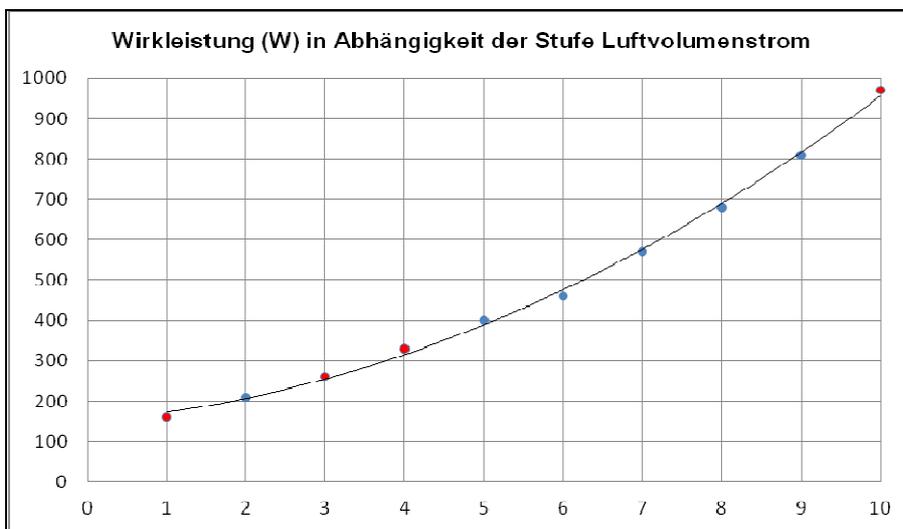


Diagramm 13: Wirkleistung in Abhängigkeit der Stufe Luftvolumenstrom

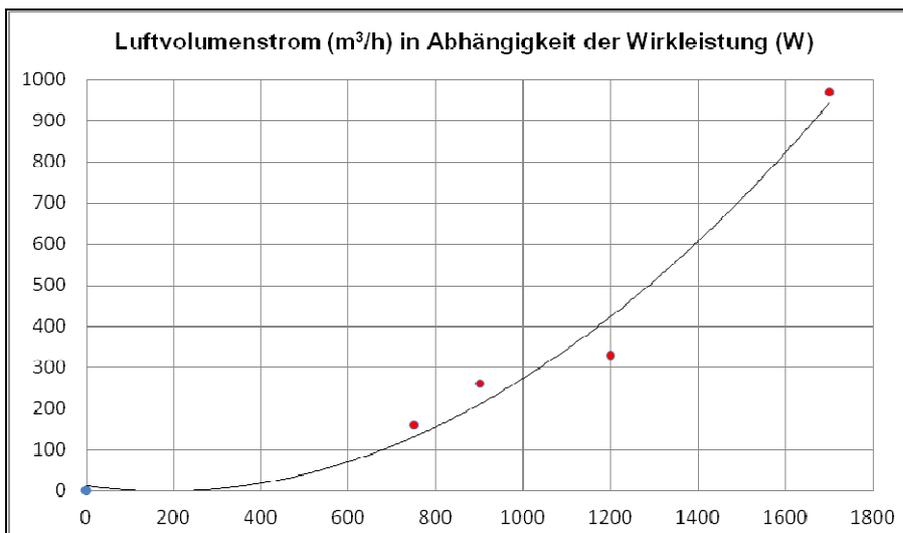


Diagramm 14: Luftvolumenstrom in Abhängigkeit der Wirkleistung

Wie zu erwarten steigt die elektrische Wirkleistung der Lüftung mit höherer Lüftungsstufe und bei höherem Luftvolumenstrom an.

Das Nutzerpersonal der Kindertagesstätte wurde darüber informiert, die Lüftungsanlagen im Normalbetrieb auf Stufe 3 zu stellen, bei höherer CO₂-Belastung Stufe 4-5 (Mittagszeit, Veranstaltungen), in den unbenutzten Zeiten (Ferien) auf Stufe 1.

Dazu wurde eine Plausibilitätsrechnung für ein Betriebsjahr (Sept. 2010 bis Sept. 2011) erstellt. Bei 40 Wochen Normalbetrieb (Stufe 3-4 ca. 300 W) und 12 Wochen Ferienbetrieb (Stufe 1 ca. 160 W) ergibt sich ein berechneter Gesamtstromverbrauch für die Lüftung im EG von etwa 1,51 MWh. Im Obergeschoss ist eine kleinere Lüftungsanlage mit 900 m³/h eingebaut. Mit Stufe 3 (ca. 260 W) und den obigen Nutzungszeiten wäre das Ergebnis 1,34 MWh. Für beide Anlagen würde sich ein Gesamtstromverbrauch von 2,85 MWh ergeben; aus den Ablesungen des Unterzählers Lüftung zeigten sich jedoch 3,38 MWh pro Jahr.

Durch Vor-Ort-Termine und Nutzerbefragung wurde festgestellt, dass die Lüftungsanlage im EG vielfach temporär mit den Stufen 5-6 betrieben wird (bei Normalnutzung); dies wird mit der unbefriedigenden Luftqualität durch 60-75 Personen (in Hauptnutzzeiten) begründet. Die Lüftung im OG läuft dagegen konstant auf Stufe 3 durch; hier verhindern viele Veranstaltungen am Wochenende ein zurückschalten. Darüber hinaus wurden die Lüftungsanlagen in den Ferien überwiegend nicht auf Stufe 1 abgesenkt, sondern auf der vor Ferienbeginn eingestellten (Normalnutzungs-)Stufe weiterbetrieben. Somit werden die tatsächlichen Energieverbräuche verständlich.

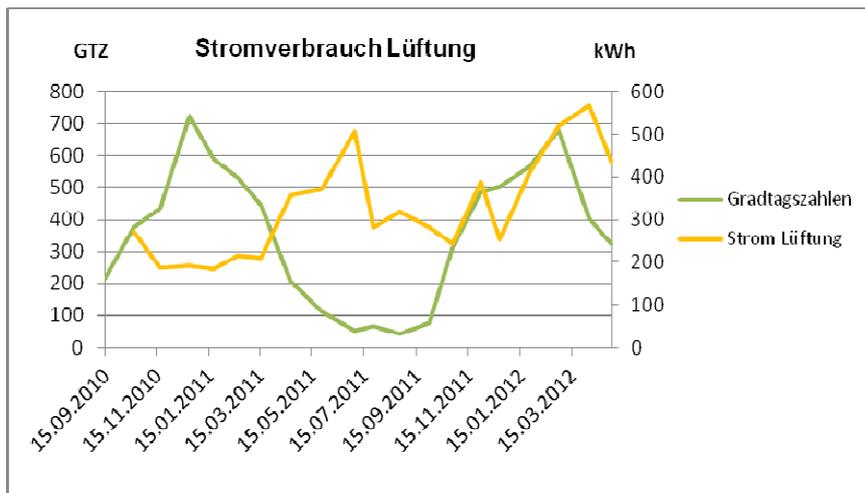


Diagramm 15: Stromverbrauch Lüftung

3.4.1e Teilbereich Wärme

Für die Stromversorgung der wärmetechnischen Anlagen beträgt der Anteil nur 0,9 % (291 kWh) für ein Jahr (15.09.10-30.09.11). Deutlich wird der parallele Verlauf zur Gradtagszahlkurve (siehe Diagramm 16).

Der Sommerverbrauch resultiert aus dem Betrieb der Pumpen bzw. Antriebe für Warmwasserbereitung, Solaranlage und Latentspeicher.

Hinsichtlich des Strombedarfs der eingebauten Umwälzpumpen siehe Anhang.

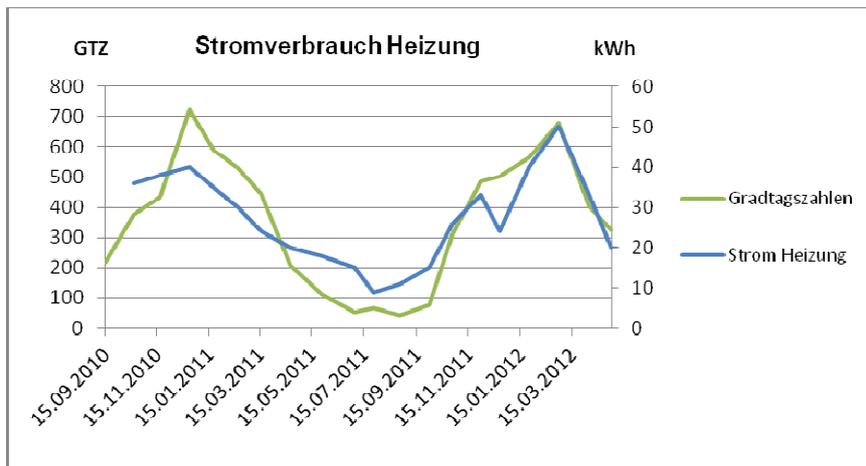


Diagramm 16: Stromverbrauch Heizung

3.4.2 Wärmeenergie

Für das erste Betriebsjahr vom 15.09.10 bis 30.09.11 betrug der Gasverbrauch (Zähler N-ERGIE AG) witterungsbereinigt für die KiTa 139,50 MWh (107,73 kWh/m² NGF).

Für das zweite Betriebsjahr hochgerechnet (Zeitraum 01.10.11 bis 30.09.12): 147,05 MWh (113,56 kWh/m² NGF).

Die Verbräuche für Wärme liegen für das erste Betriebsjahr mit 107,73 kWh/m² deutlich unter den Werten des Bestandsgebäudes mit 264 kWh/m²a, allerdings noch über dem geplanten Wert von 79 kWh/m²a; dies bedingt weitere Maßnahmen hinsichtlich Mängelbeseitigung und Verbrauchsoptimierung.

Der Umrechnungsfaktor für Erdgas betrug 10,41 bis 01.01.2012 (N-ERGIE AG).

Der Wärmeverbrauchsverlauf in folgendem Diagramm aus bezogener Gasmenge und daraus erzeugter Wärmemenge passt ideal zum Verlauf der Gradtagszahlkurve aus Diagramm 22, S. 43.

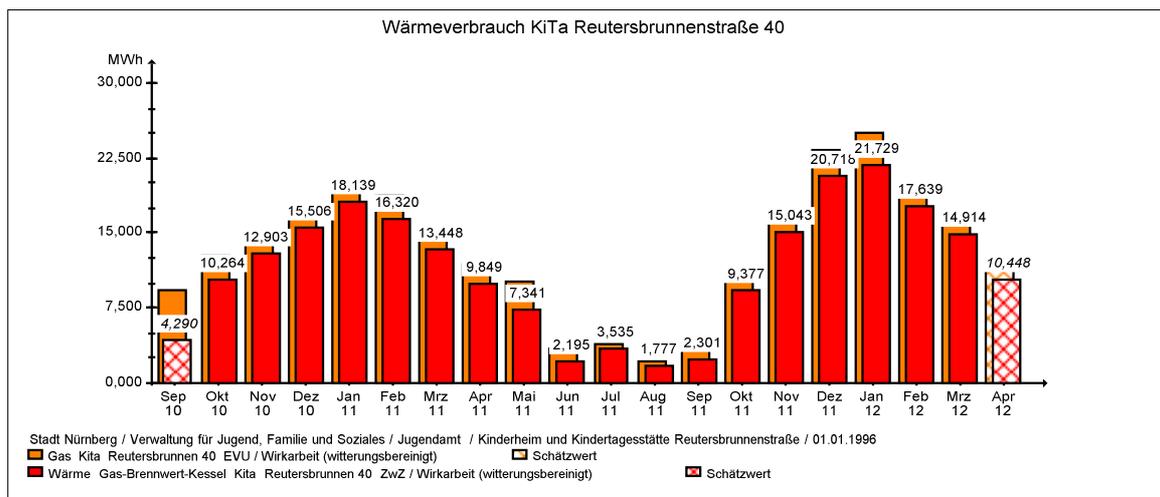


Diagramm 17: Wärmeverbrauchsverlauf ab Nutzungsbeginn
(Korrektur: Gasbezug Sept. 2010 4,677 MWh)

In den Sommermonaten Juni bis September wird noch ein Sockelverbrauch von bis zu 3,535 MWh für die Warmwasserbereitung bzw. evtl. Raumluftechnik benötigt. Im August ist auf-

grund der Ferienzeit der KiTa vom 6.8. bis 4.9. der geringste Verbrauch aufgetreten. Die KiTa hatte im letzten Winter nur eine Woche Betriebsferien (24.12.- 31.12.11), für welche keine Regelungsänderungen vorgenommen wurden.

Witterungsbedingt ergeben sich für den Winter 2011/12 (mit Kälteeinbruch im Januar) höhere Verbräuche als im Vorwinter 2010/11.

Die Hauptwärmeerzeugung erfolgt über den erdgasversorgten Brennwertkessel. Am Wärmemengenzähler des Kessels werden für das erste Betriebsjahr (15.09.10 bis 30.09.11) 117,87 MWh angezeigt (91,02 kWh/m² NGF), dies entspricht 96,3 % der Gesamtwärmeversorgung aus Kessel und Solaranlage (Ausgang Latentspeicher), gesamt 122,39 MWh. Der Latentspeicher (Ausgang) liefert nur den geringen Anteil von 4,52 MWh bzw. 3,7 %.

Der Wärmeenergieverbrauch wird maßgeblich vom Anteil der Fußbodenheizung dominiert, welcher sich mit 69,55 MWh (53,71 kWh/m² NGF) bzw. 56,8 % deutlich zeigt. Aufgeteilt auf EG mit 37,68 MWh (53,71 kWh/m² NGF) und OG mit 31,87 MWh (58,58 kWh/m² NGF). Die Hauptverbräuche liegen im Dezember 2010 und Februar 2012.

Die weitere Beheizung des Gebäudes wird über die beiden Lüftungsanlagen realisiert. Die größere Lüftungsanlage im EG verbraucht 5,34 MWh (7,62 kWh/m² NGF). Da der Wärmemengenzähler der kleineren Lüftungsanlage im OG bisher nicht zugänglich war, wurde der Energieverbrauch anhand der Gesamtsumme am Kessel abzüglich 10 % Leitungsverlusten abgeschätzt; es werden somit 3,92 MWh (7,20 kWh/m² NGF) angesetzt. Im nachfolgenden Diagramm ist deshalb auch kein Wärmeverbrauch ‚Lüftung OG‘ abgebildet.

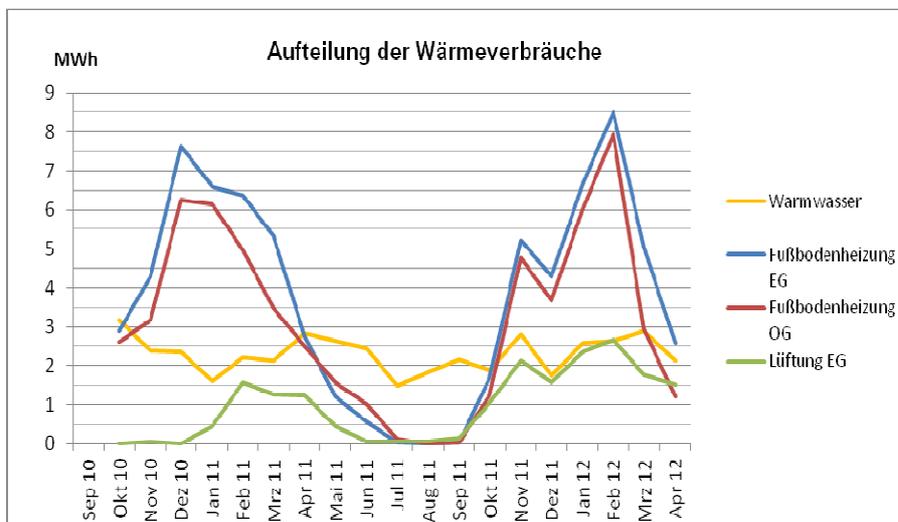


Diagramm 18: Aufteilung der Wärmeverbräuche, ohne Lüftung OG

Der Verbrauch für die Warmwasserbereitung nimmt mit 27,27 MWh (21,06 kWh/m² NGF) ebenfalls einen sehr großen Anteil ein (22,3 %). In obigem Diagramm ist ganzjährig ein etwa gleichbleibender Verbrauchsverlauf zu sehen. In den Sommermonaten Mai – September werden hierfür 10,56 MWh aufgewendet, davon liefert die Solaranlage (Ausgang Latentspeicher) 2,81 MWh, d.h. nur einen Anteil von 26,6 %. Selbst in der Jahreszeit mit den größten Solargewinnen kann folglich der Kessel nicht ausgeschaltet werden. Weitere Untersuchungen zur Solar-/Latentanlage siehe Pkt. 3.4.3 bzw. S. 45.

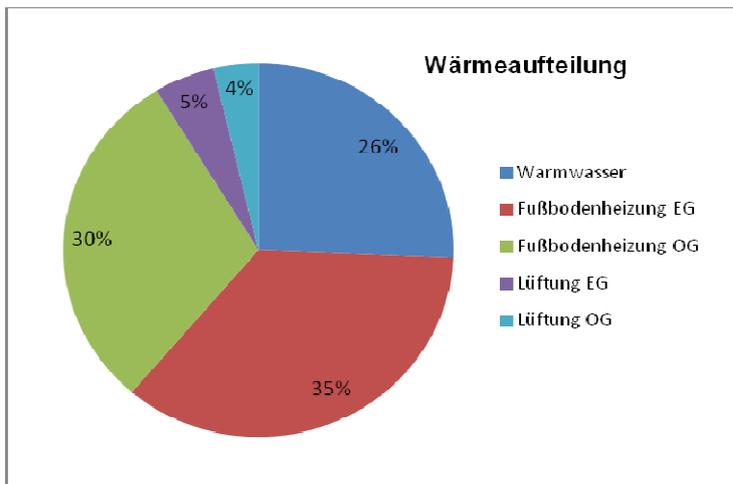


Diagramm 19: Prozentuale Aufteilung der Wärmeverbräuche im 1. Betriebsjahr

3.4.3 Solare Energie für Warmwasser/Raumheizung

Um das kostenlose solare Energieangebot des Sommers effizient nutzen zu können, wurde als Herzstück des Gebäudeheizsystems eine thermische Solaranlage mit 36,5 m² Brutto-Kollektorfläche und ein Latentwärmespeicher aus 22 Stück Wärmезellen installiert. Auch unter dem Gesichtspunkt, dass der Brennkessel im Sommer und teilweise auch in den Übergangszeiten möglichst wenig zuheizen sollte.

Den Verlauf des solaren Wärmeertrages zeigt nachfolgendes Diagramm.

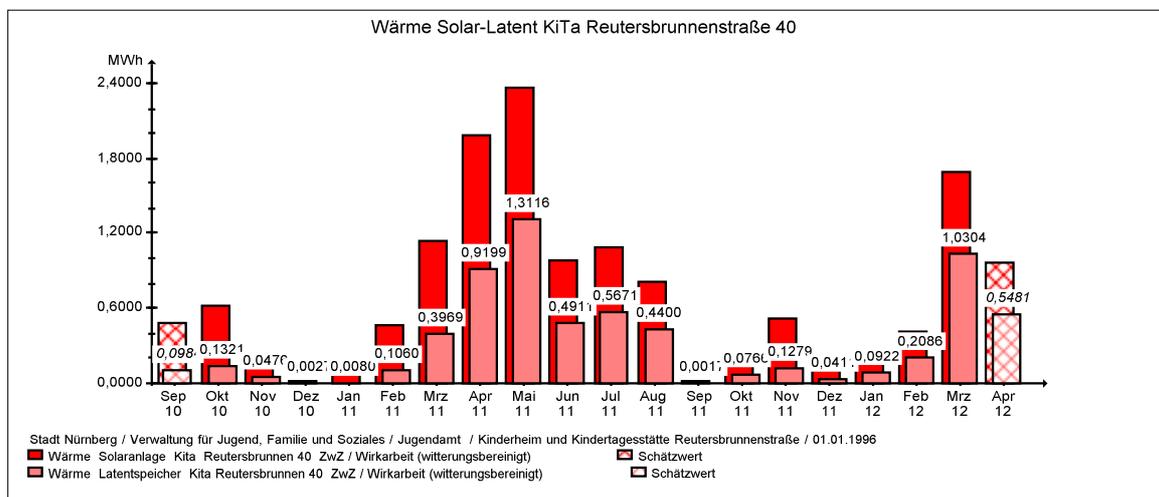


Diagramm 20: Wärmeverlauf Solar-/Latentanlage

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Wärmeertrag der Latentspeicher proportional zum Wärmeertrag der Solaranlage ist. Es wurde aber nur ein Teil der solar gewonnenen Wärme auch dem Heizsystem direkt zur Verfügung gestellt.

Im September und Oktober 2011 ist leider so gut wie kein solarer Gewinn erzielt worden, da vom 26.08. bis 27.10.11 die Solarkreisstation ausfiel (Pumpe lief, aber Tacosetter oder Kugelhahn blockierte Solarumlauf), und es bis Ende Oktober dauerte, den Mangel zu beheben. Interessant sind nun die erzielten Erträge:

Für das erste Betriebsjahr betrug der Solarertrag 10,3 MWh, am Latentspeicher konnten ausgangsseitig 4,52 MWh dem Heizsystem zur Verfügung gestellt werden (witterungsberei-

nigt), d.h. 43,9 %. Rund 56 % gehen folglich für Transport, Speicherung und Entspeicherung der Solarwärme verloren.

Der erzielte Solarertrag mit 10,3 MWh/a liegt unter Berücksichtigung der beiden Ausfallmonate im akzeptablen Bereich zwischen 10,5 MWh/a (bei 300 kWh/m² durchschnittlichem Jahresertrag) und 13,4 MWh/a (bei 400 kWh/m²).

Unter Berücksichtigung der geringen Wärmegewinne aus dem Latentspeicher wurden die hydraulische Verschaltung und die Regelungsvorgaben überprüft, zur Verbesserung soll ein Umbau der Hydraulik inkl. Regelungsanpassung zeitnah realisiert werden. Weitere Untersuchungen zur Solar-/ Latentanlage siehe S. 45.

Die Warmwasserbereitung erfolgt in der KiTa über einen zentralen 300l-Speicher mit externem Wärmetauscher-Ladesystem, welcher die Küchen und sanitären Anlagen versorgt. Gezählt wird die zulaufende Kaltwassermenge seit 13.05.2011. Die für die Warmwasserbereitung erforderliche Wärme (über Gaskessel bzw. Solar) wird seit September 2010 erfasst.

Das Warmwassernetz wird über 24 Stunden konstant auf 61°C betrieben; die Zirkulationspumpe ist parallel dazu durchgängig in Betrieb.

Es ist keine weitere dezentrale elektrische Warmwasserbereitung im Gebäude vorhanden.

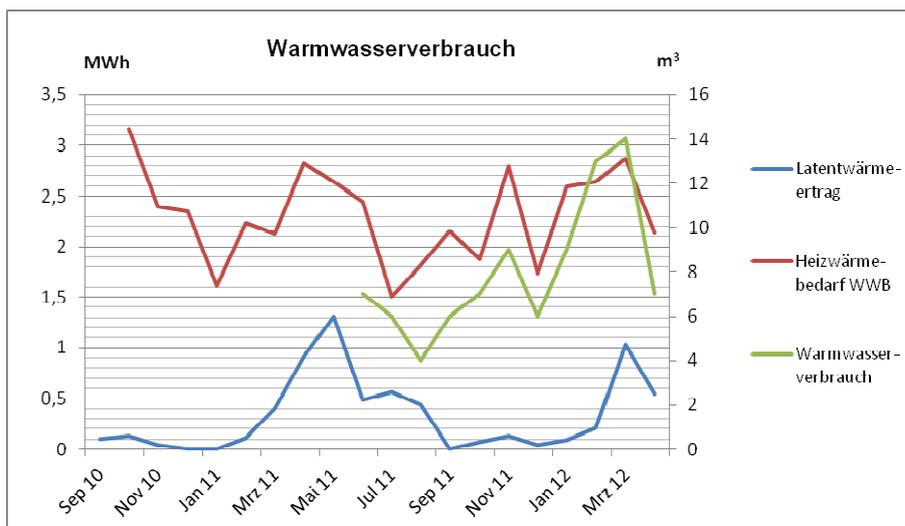


Diagramm 21: Warmwasserverbrauch gesamt und hierfür erforderliche Wärmeenergie

Die Warmwasser-Kurven Wärmebedarf und Verbrauch zeigen etwa parallelen Verlauf. Für das erste Betriebsjahr (15.09.10 bis 30.09.11) betrug der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung gesamt 27,27 MWh, durchschnittlich 2,27 MWh/Monat. Durchschnittlich werden 8 m³ Warmwasser pro Monat verbraucht; dies bedeutet pro m³ Warmwasser 284,1 kWh Wärmeenergie zur Aufheizung von 10 auf 60°C, einschließlich der Speicher-, Rohrleitungs- und Übertragungsverluste. Die Erwärmung nur des m³ Wassers würde rein rechnerisch ca. 58,1 kWh benötigen.

Da vor allem in den Sommermonaten der Heizwärmebedarf für die Warmwasserbereitung sowohl über den Heizkessel als auch über die Solar-/Latentanlage gedeckt wird, beträgt z.B. im Mai 2011 als ertragreichstem Monat der solare Anteil 49,7 %. Über das erste Betriebsjahr gesehen beträgt der Anteil nur 16,6 % (Summe Latentausgang 4,52 MWh).

Anhand des Wasserzählers in der Zirkulationsleitung am Speichereintritt konnte die Wärmemenge ermittelt werden, welche im Warmwasser-/Zirkulationsnetz abgegeben wird. Durchschnittlich werden pro Monat 445,9 m³ Warmwasser umgewälzt (Betrachtungszeit-

raum 01.05.11 bis 30.04.12). Mit Speicheraustrittstemperatur 60°C und max. zulässigen $\Delta T=5K$ am zirkulationsseitigen Speicherrücklauf ergibt sich eine rechnerische Wärmemenge von 2,59 MWh/Monat. Diese Wärmemenge wird im Gebäude abgegeben.

3.4.4 Bisherige Überlegungen bzw. Optimierungen

a. Temperaturen und Betriebszeiten

Im Laufe des ersten und zweiten Betriebsjahres hat sich zwischen KEM und dem KiTa-Team eine gute Zusammenarbeit entwickelt, Begehungen und Informationsaustausche finden statt, um den störungsfreien und effizienten Betrieb der Anlagen im Sinne der Nutzerzufriedenheit zu gewährleisten. Mögliche Änderungen an den Einstellungen der Regelung (Zeit, Sollwerte, seit September 2010) werden abgestimmt und teilweise entsprechende Probeperioden durchgeführt; die vorgenommenen Änderungen werden dokumentiert.

So wurden z.B. bei der Fußbodenheizung die Sollwerte der Raumtemperatur verändert. Diese war aufgrund von anfänglichen Raumluftmessungen mindestens von September 2010 bis März 2011 durchgängig in Betrieb, tagsüber auf Sollwert 23°C, nachts auf 22°C (EG+OG). Geändert wurde im März 2011 (Einweisung) das EG auf 22°C Tag, 20°C Nacht.

Versuchsweise wurden im Juli 2011 die Sollwerte OG gesenkt auf Tag/Nacht 22/21°C. Ende Dezember 2011 mussten diese wieder hochgestellt werden, da es aufgrund der niedrigen Außentemperaturen im Gebäude gefühlt zu kalt war (vgl. Pkt. 3.3.2b); auf Tag/Nacht EG 22/21°C, OG 23/22°C.

Ursprünglich wurden im OG verschiedene Räume nicht warm, es fehlte mindestens ca. 1K zwischen Sollwert und tatsächlicher Raumtemperatur (Febr./März 2011). Änderungen an Regelung und Hydraulik folgten zur Verbesserung der Situation.

Ferienzeiten und Feiertage sind in der Heizungsregelung hinterlegt und werden regelmäßig aktualisiert.

b. Kesseleffizienz

Der Hauptwärmeerzeuger Gas-Brennwertkessel wurde hinsichtlich des tatsächlichen Wirkungsgrades monatlich betrachtet. Es ergibt sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraums ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 84,4 % (Hs).

Monat	Sep 10	Okt 10	Nov 10	Dez 10	Jan 11	Feb 11	Mrz 11
Gasverbrauch	4,677	12,627	15,177	17,844	19,766	18,783	15,459
Kesselwärme	4,290	10,264	12,903	15,506	18,139	16,320	13,448
Wirkungsgrad	91,7	81,3	85,0	86,9	91,8	86,9	87,0

Monat	Apr 11	Mai 11	Jun 11	Jul 11	Aug 11	Sep 11	Okt 11
Gasverbrauch	11,823	10,091	3,528	3,825	2,164	3,737	10,475
Kesselwärme	9,849	7,341	2,195	3,535	1,777	2,301	9,377
Wirkungsgrad	83,3	72,7	62,2	92,4	82,1	61,6	89,5

Monat	Nov 11	Dez 11	Jan 12	Feb 12	Mrz 12	Apr 12	Schnitt
Gasverbrauch	17,204	23,329	25,130	18,980	16,614	11,974	
Kesselwärme	15,043	20,718	21,729	17,64	14,914	10,448	
Wirkungsgrad	87,4	88,8	86,5	92,9	89,8	87,3	84,4

Tabelle 5: Monatlicher Gasverbrauch, Kesseltrag und Wirkungsgrad (witterungsbereinigt)

Aufgetragen auf ein Diagramm mit Gradtagszahlen und Brennerbetriebsstunden wird der relativ gleichmäßige Verlauf von verbrauchter Gasmenge und erzeugter Wärmemenge deutlich. Der Wirkungsgrad bewegt sich auf annähernd konstantem Niveau bis auf zwei Ausreißer im Juni und September, welche die wechselnden Heizerfordernisse in den Übergangszeiten verdeutlichen.

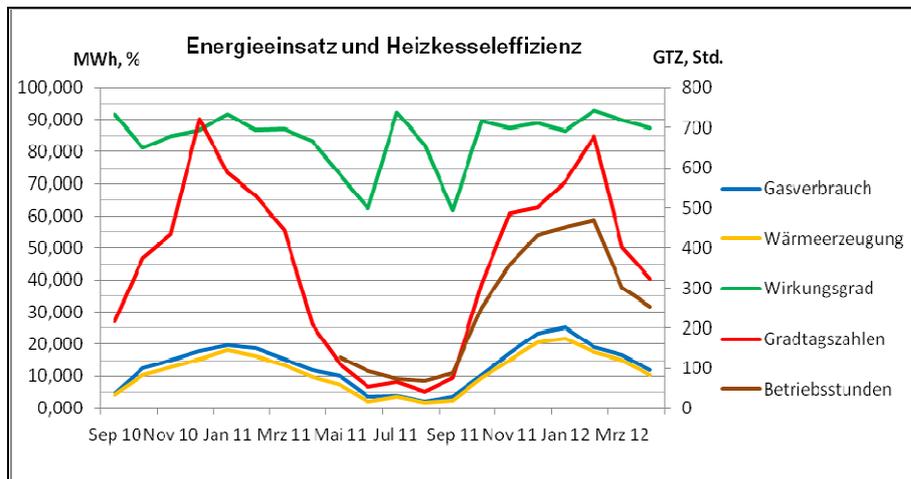


Diagramm 22: Energieeinsatz und Heizkessel-effizienz

Die Jahres-Durchschnittsleistung des modulierenden Kessels wurde anhand der Betriebsstunden (2.970 h/a) und des witterungsbereinigten Energieverbrauchs (147.000 kWh/a) ermittelt (Zeitraum Mai 2011 bis April 2012) und beträgt ca. 49,5 kW, d.h. etwas über der unteren Modulationsgrenze von 36,6 kW.

Im Vergleich zur Norm-Gebäudeheizlast nach DIN EN 12831 (66,8 kW) wurde die dimensionierte Kesselleistung näher betrachtet. Die Kesselgröße mit 90 kW liefert bei Vorlauf/Rücklauf 70/50°C eine Nennwärmeleistung von 84,2 kW. Im ausgewählten Volllastmonat Januar 2012 wird bei einem Endenergieverbrauch von 25,13 MWh und mit 452 Betriebsstunden nur eine durchschnittliche Kesselleistung von 55,6 kW benötigt.

Die nächstkleinere Kesselgröße mit 70 kW liefert bei Vorlauf/Rücklauf 70/50°C eine Nennwärmeleistung von 65,5 kW, wäre jedoch hinsichtlich der Norm-Gebäudeheizlast zu knapp dimensioniert bzw. hinsichtlich der Vollbenutzungsstunden (s.u.) überlastet.

Aussagen zur richtigen Dimensionierung bzw. Auslastung bestehender Heizungsanlagen lassen sich auch über die Vollbenutzungsstunden treffen. Diese geben an, wie viele Stunden pro Jahr die Anlage theoretisch bei voller Leistung betrieben wurde und sind der Quotient aus Heizenergieverbrauch pro Jahr / installierte Nennwärmeleistung.

Für das 1. Betriebsjahr: $139.501 \text{ kWh} : 84,2 \text{ kW} = 1.657 \text{ h/a}$

Für das 2. Betriebsjahr: $147.051 \text{ kWh} : 84,2 \text{ kW} = 1.746 \text{ h/a}$

Hinsichtlich dem typischen Wert von 1.500 h/a für eine mehrschichtig genutzte Kindertagesstätte sind obige Werte leicht erhöht, was auf eine nicht ganz optimale Nutzung der Heizungsanlage schließen lässt. Hier sind die Regelungseinstellungen für Fußbodenheizung und Warmwasserbereitung zu überprüfen bzw. die Latenteinbindung zu optimieren. Da es sich hier um einen sensiblen Bereich handelt, Kindergarten mit Kindern ab 3 Jahren, sind im Zweifelsfall die Komfortkriterien vorrangig vor der möglichen Energieeinsparung.

Die Vor- und Rücklauftemperatur der Heizungsanlage wurde vom 11.-16.11.2011 mittels Anlegefühler gemessen. Im Normalfall beträgt die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf (VL) und Rücklauf (RL), die sog. Spreizung, je nach Außentemperatur (AT) 10-20 Kelvin (K). Geringere Temperaturdifferenzen können ein Zeichen für schlecht einregulierte Anlagen sein (Hydraulik, Pumpen) und höhere Energieverbräuche bewirken.

Ursprünglich waren Systemtemperaturen von VL/RL 60/40°C geplant, betrieben wird die Anlage jedoch mit max. VL/RL 70/50°C (verfügbare Kesselnennwärmeleistung 84,2 kW) bei minimaler Außentemperatur von -16°C.

Auslegung Heizkreise: Warmwasserbereitung und Lüftungstechnik VL/RL 60/40°C, Fußbodenheizung VL/RL 50/40°C.

Ersichtlich wird, dass bei Außentemperaturen von -5,7 bis +9,2°C die Vorlauftemperatur hauptsächlich zwischen 65 und 68°C pendelt, die Rücklauftemperatur zwischen ca. 35 und 50°C. Gemittelt beträgt die tatsächliche Spreizung ca. 20 K (VL/RL 65/45°C).

Am 13.11.2011 sanken z.B. die Systemtemperaturen v.a. aufgrund geringen Warmwasserbedarfs punktuell auf ca. VL/RL 53/32°C.

Aufgrund der geringen Nachtabenkung der Fußbodenheizung (1 K) macht sich dies in den Verläufen der Kesseltemperaturen kaum bemerkbar.

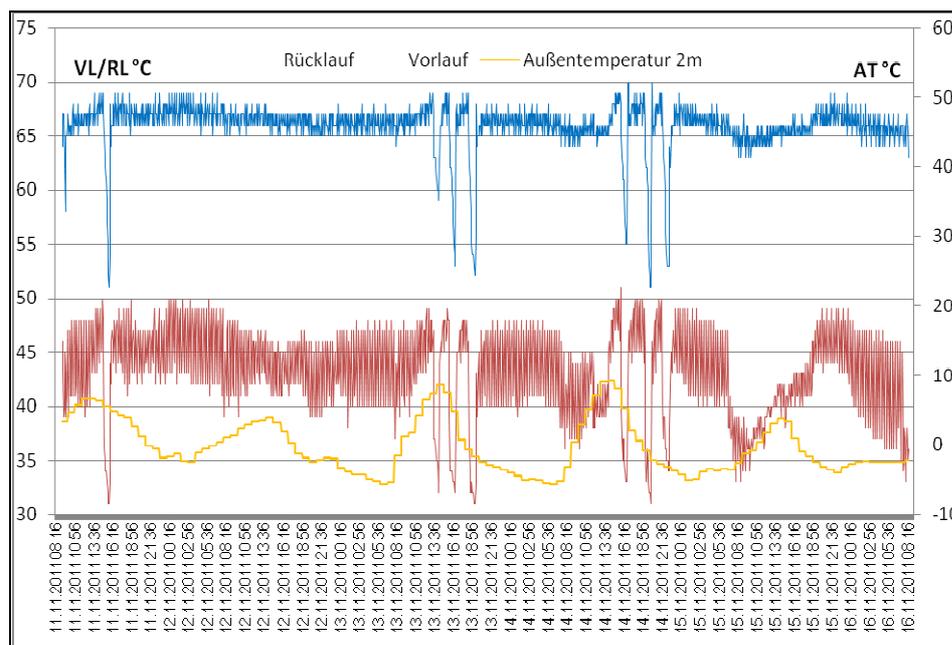


Diagramm 23: Messung der Kessel-Systemtemperaturen 11.-16.11.2011

Für die Ermittlung der Heizgrenze wurden die Monatsmesswerte für witterungsunabhängigen Warmwasserverbrauch und witterungsabhängigen Heizungsverbrauch über der mittleren Monats-Außentemperatur aufgetragen.

Laut nachfolgendem Diagramm liegt die Heizgrenztemperatur zwischen 16 und 17,6°C.

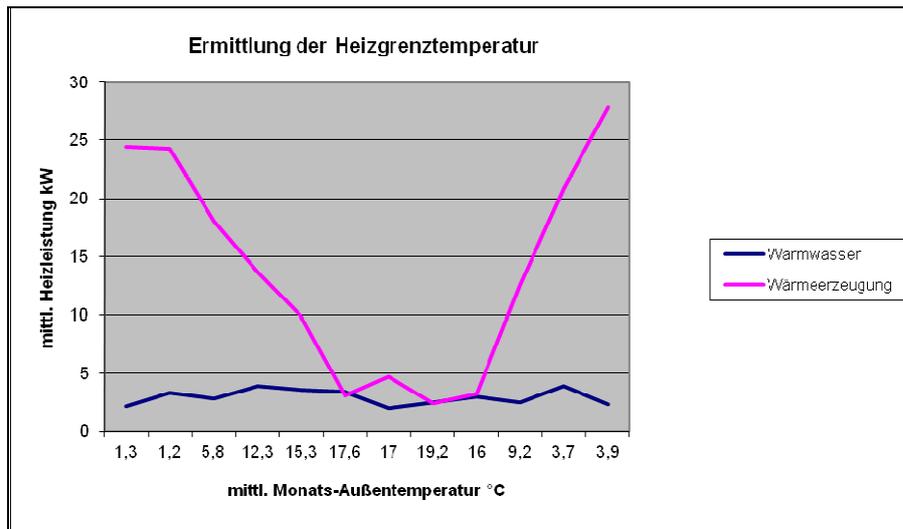


Diagramm 24: Ermittlung der Heizgrenztemperatur

Hinsichtlich der Regelungseinstellungen wurde probeweise die Heizkennlinie für die Fußbodenheizung verstellt. Diese war ursprünglich mit einer Neigung von 0,4 eingestellt, gebildet aus den beiden Eckpunkte 1 (AT/VL -5/40°C) und 2 (AT/VL 20/28°C). Umgestellt wurde sie auf eine höhere Neigung von 0,5 mit den Eckpunkten 1 (AT/VL -5/40°C) und 2 (AT/VL 20/24°C), so dass die Fußbodenheizung im Sommer früher abschaltet, im Winter bei tiefen Temperaturen dagegen noch etwas Sicherheit durch eine höhere Vorlauftemperatur bietet.

Noch nicht geändert wurde der Heizkörperexponent, welcher den Zusammenhang zwischen Leistungsabgabe und mittlerer Übertemperatur einer Heizfläche bildet. Aktuell ist noch der Ausgangswert von 1,3 eingestellt; dieser gilt üblicherweise für Radiatoren. Für Fußbodenheizungen könnte hingegen der Wert 1,1 programmiert werden.

c. Solar-/Latentanlage

In der KiTa wurde als Herzstück des Gebäudeheizsystems eine thermische Solaranlage mit Latentwärmespeichern installiert.

In der Solarregelung wird die an den Kollektoren herrschende Temperatur mit der im Latentspeicher unten befindlichen Temperatur verglichen. Ist die Temperatur an den Kollektoren $\Delta T=4K$ höher, so wird die dreistufige Umwälzpumpe (Grundfos UPS 25-80) gestartet. Diese lässt mit Glykol versetztes Heizungswasser über die Solarzellen und den, im Latentspeicher befindlichen Wärmetauschern zirkulieren. Nähert sich die Temperatur des Heizungswassers der gemessenen Kollektortemperatur, wird die Solarpumpe gestoppt.

Die herrschende Temperatur im Latentspeicher wird ständig über zwei Einzelmessungen (oben und unten) mit der Temperatur im Heizkessel verglichen. Befindet sich das Temperaturniveau im Latentspeicher oberhalb der Kesseltemperatur ($\Delta T=2K$), so startet die Entladepumpe (WILO Star-RS 25/6, 3-stufig). Gleichzeitig wird das Ventil Entladung umgesteuert. Das Heizungswasser zirkuliert nun nicht mehr über den Gaskessel. Die Heizwärme im Latentspeicher wird nun zur Deckung des Wärmebedarfs herangezogen. Eine Rückschaltung findet statt, wenn die Latentspeichertemperatur kleiner oder gleich der Kesseltemperatur ist. Die jeweilige Kesseltemperatur ist abhängig von der Außentemperatur sowie den hinterlegten Sollwerten für Warmwasserbereitung, Fußbodenheizung und Lüftungstechnik.

Als bisherige Probleme an der Solaranlage sind zu nennen:

- neuer Kollektorfühler erforderlich (Tauch- statt Anlegefühler)
- wiederholt Luft bzw. zu wenig Druck im Solarsystem (Soll 2,5-3,5 bar)
- Ausfall bzw. Blockade der Solarkreisstation im Herbst 2011.

Zur Überprüfung der Funktion des Solar- bzw. Latentkreislaufs wurden vom 26.03.-04.04.2012 entsprechende Messungen durchgeführt.

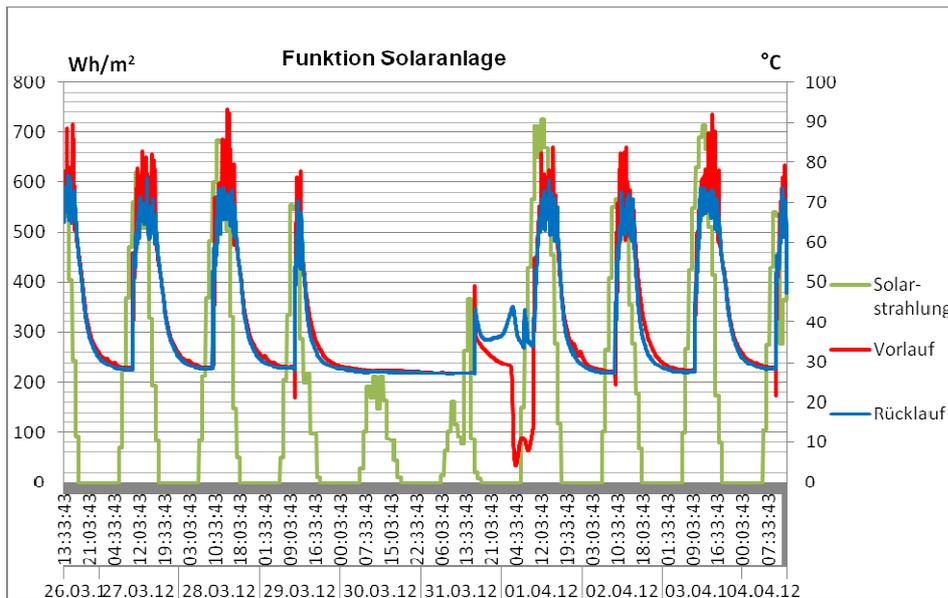


Diagramm 25: Messung der Solar-Systemtemperaturen 26.03.-04.04.2012

Der Solarkreislauf funktioniert parallel zur tatsächlichen Solarstrahlung und erreicht Vorlauftemperaturen von bis zu 95°C und Rücklauftemperaturen von bis zu 75°C. Ab einem minimalen Stundenmittelwert der Solarstrahlung von ca. 210 Wh/m² läuft die Solaranlage an (30./31.03.2012). Warum es am 01.04.2012 in den frühen Morgenstunden zu einer Abkühlung der Vorlauftemperatur auf ca. 4°C kam, ist nicht nachvollziehbar (Pumpenlauf?). Die minimale nächtliche Außentemperatur betrug hier -4,9°C.

Die max. Solarleistung beträgt bei tatsächlich max. auftretenden 20 K Spreizung ca. 39 kW, der max. Durchfluss 1,67 m³/h (27,8 l/min.). Dies steht im Widerspruch zum Tacosetter Inline DN25 an der Solarkreisstation, welcher bei Solarbetrieb immer nur max. 14 l/min. anzeigt. Gemäß Angaben Fa. Powertank soll der Massendurchsatz mindestens 1,4 l/min. je Wärmetauscher und je Wärmezelle betragen (max. 1,7 l/min.), d.h. bei 22 Zellen gesamt 30,8 l/min. je für Solarkreis (Latenteingang) und Latentausgang.

Empfohlen ist der Match-Flow-Betrieb mit 40 l/m²h, realisiert sind 45 l/m²h, Ziel sind 50 l/m²h. Die Solarpumpe wurde im Monitoringzeitraum auf Stufe 3 hochgestellt, da bei Stufe 2 der (geplante) Massendurchsatz von 2,0 m³/h nur bis zu einer Förderhöhe von 5,2 mWs möglich war; bei Stufe 3 dagegen bis 6,5 mWs. Ursprünglich war gemäß Planung eine Grundfos UPS 25-120 ausgeschrieben, welche 2,0 m³/h bis 8 mWs fördern sollte. Dies wurde von der Heizungsfirma jedoch nicht so umgesetzt. Um den maximalen Solarertrag zu erhalten, wäre der Einbau einer größeren Pumpe erforderlich.

Die Anzahl der benötigten Wärmezellen wurde von Fa. Powertank mit Wärmeleistung der Solaranlage x Faktor 0,6 berechnet (rechnerisch ca. 23 Stück, tats. 22 Stück).

Ausgangsseitig wurde am Latentspeicher bei einem max. Durchfluss von 2,53 m³/h (42,2 l/min.) eine max. Leistung von ca. 29 kW erzielt (Spreizung 10 K). Der Tacosetter Inline DN20 im Latentspeicher ist innen schwarz beschlagen, ein Durchfluss daher nicht erkennbar. Trotz mehrmaliger Hinweise an die Heizungsfirma erfolgte keine Reinigung. Als Lösung sollten beide Tacosetter Inline gegen das Modell mit Bypass ausgetauscht werden, da hier der Messkörper nicht ständig durchströmt wird.

Erreicht wurde im Latentspeicher eine maximale Ladetemperatur von 67°C, ab 65°C ist Paraffin durchgeschmolzen, dies entspricht der minimalen Soll-Rücklaufemperatur. Eingebaut wurden Zellen mit dem Schmelzpunkt 60/62°C.

Neuere Modelle werden mit dem Schmelzpunkt 50/52°C ausgeliefert; diese erreichen ihren Schmelzpunkt früher und können daher höhere Solarerträge nutzen.

Die maximale Temperaturgrenze von 85°C für die Latenzellen (oben gemessen) erfolgt durch das Abschalten der Solarpumpe.

Die beiden Regelungsfühler in der Führungszelle sind offensichtlich immer noch ohne direkten Kontakt zur Wandung der Tauchhülse, eine Umwicklung fehlt hier noch (Heizungsfirma). Die Latentpumpe wurde im Monitoringzeitraum auf Stufe 3 hochgestellt, da bei Stufe 2 der maximale Massendurchsatz von 2,53 m³/h nur bis zu einer Förderhöhe von 0,8 mWs möglich war; bei Stufe 3 dagegen bis 2,3 mWs. Ursprünglich war gemäß Planung eine andere WILO-Pumpe ausgeschrieben, welche 4,0 m³/h bis 1,5 mWs fördern sollte.

Als Solarertrag fielen in genanntem Zeitraum 452 kWh an; der Latentertrag betrug 315 kWh, d.h. 70 % konnten dank erfolgreichem Schmelzvorgang an das Heiznetz geleitet werden.

Für die Warmwasserbereitung wurden im selben Zeitraum 754 kWh benötigt; die Deckung erfolgte über Latentspeicher und Heizkessel.

Unter Berücksichtigung der geringen Wärmegewinne aus dem Latentspeicher wurden die hydraulische Verschaltung und die Regelungsvorgaben überprüft. Neben dem dauerhaft 10 % geringeren Massendurchsatz solarseitig stellt die Warmwasserbereitung das größte Problem dar. Die Warmwasserbereitung (Sollwert 61°C) bildet die Hauptpriorität bei der Wärmeforderung. Durch Warmwasserverbrauch und 24-stündig laufender Zirkulationspumpe wird ständig Wärme angefordert, welche bei nicht ausreichender Temperatur im Latentspeicher vom Heizkessel übernommen wird. Das Entladeventil fährt auf Vorrang Gaskessel („entweder-oder-Schaltung“), da der Latentspeicher gemäß Regelung erst wieder bei Sollwert WWB 61°C plus $\Delta T=2K$ zum Einsatz kommt.

Dies führt zu einer hohen Taktfrequenz des Gaskessels und damit zu einem ineffizienten Betrieb, ohne dass gleichzeitig die vorhandene Latentspeichertemperatur von ca. 40-50°C und damit der Wärmeinhalt der teilgeschmolzenen bzw. teilerstarrten Zellen z.B. in der Übergangszeit für die Fußbodenheizung genutzt werden konnte. Somit wurde im bisherigen Betriebszeitraum nur eine ungenügende Entladung des Latentspeichers realisiert.

Dies soll nun durch eine Korrektur der Hydraulikverschaltung inkl. Regelungsanpassung optimiert werden. Zwei Varianten haben sich herauskristallisiert:

1. An der Zuleitung vom Heizkessel wird ein zusätzlicher Strang abgegriffen und direkt vor der Speicherladepumpe mittels 3-Wege-Umschaltventil angebunden. Wenn die Temperatur im Latentspeicher hoch genug ist, wird der Warmwasserspeicher über diesen versorgt. Sinkt die Temperatur, versorgt der Latentspeicher nur noch die Fußbodenheizung. Der Warmwasserspeicher wird dann durch das Umschalten des Ventils über den Heizkessel versorgt.

- Der Latentspeicher wird mittels 3-Wege-Umschaltventil direkt in den Rücklauf des Kessels eingebaut und heizt diesen vor. Wird keine höhere Temperatur als die des Latentspeichers benötigt, läuft das Heizwasser durch den Kessel durch und dann zu den Verbrauchern. Wird eine höhere Temperatur benötigt, dann heizt der Kessel die Differenz nach. Ist der Rücklauf der Verbraucher höher als die verfügbare Temperatur des Latentspeichers, schaltet das Ventil um und das Heizwasser läuft über den Heizkessel.

Umgesetzt werden soll nun endlich im Laufe des Sommers 2012 die kostengünstigere Lösung 2, nachdem hier seit ca. Herbst 2011 keine weiteren Aktivitäten von Seite Planungsbüro bzw. Heizungsfirma unternommen wurden trotz mehrmaliger Aufforderung.

Nach wie vor fehlt auch das Aufheizprotokoll über die damalige Inbetriebnahme der Wärmepumpen und deren Aufheizen auf 70°C.

Die Einbindung in den Kesselrücklauf beeinträchtigt den Brennwertnutzen des Gaskessels nicht oder nur gering, da nur in den Sommermonaten die Latentspeicher- bzw. Latentvorlauftemperaturen den Taupunkt für Erdgas (57°C) überschreiten und zu dieser Zeit der Kessel aber nicht in Betrieb sein dürfte.

Da der Latentspeicher bisher ausschließlich über die Solarkollektoren geladen wird, empfiehlt Fa. Powertank den (leeren) Latentspeicher z.B. im Winter über den Gaskessel auf 66°C aufzuwärmen, um häufiges Takten z.B. für die Warmwasserbereitung zu vermeiden.

Das nachfolgende Diagramm mit punktuellen Tageswerten zeigt die bisherige Funktion des Latentspeichers:

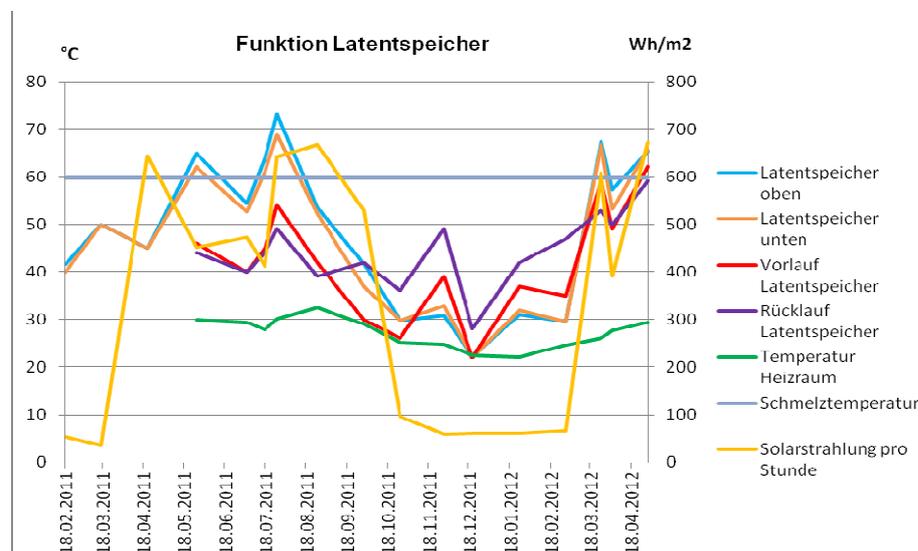


Diagramm 26: Funktion Latentspeicher im Jahresverlauf

Es ist ersichtlich, dass ein völliges Durchschmelzen des Paraffins nur an heißen Tagen gelingt. Mindestens 600 Wh/m² stündliche Solarstrahlung sind hierzu nötig. Es werden maximale Temperaturen von 73°C im Latentspeicher oben erreicht. Die daraus nutzbaren Vor- und Rücklauftemperaturen ausgehend vom Latentspeicher liegen bei Solarstrahlungsbetrieb zwischen 40-60°C.

Bei winterlichem Stillstand der Solar-/Latentanlage wird der heizungsseitige Rücklauf zum Latentspeicher desöfteren von warmem Heizungswasser durchströmt, max. bis zur Rückschlagklappe an der Pumpengruppe, und auf bis zu 49°C erwärmt.

d. Umwälzpumpen

In der Kindertagesstätte sind verschiedene Typen von Umwälzpumpen installiert, welche im Hinblick auf Funktion und Einstellungen überprüft wurden (Pumpenliste siehe Anhang).

Im Vergleich zum Zeitpunkt des Nutzungsbeginns der KiTa wurden bei den Pumpen für die Fußbodenheizungen EG/OG die Förderhöhen erhöht, da es anfänglich zu Temperaturproblemen im Gebäude kam. Auch die Förderhöhe für den Warmwasserspeicher wurde erhöht.

Weiterhin entstand anfänglich eine hydraulische Unterversorgung des Heizkreises RLT, so dass eine stärkere Pumpe eingebaut werden musste.

Zu den Pumpen der Solar-/Latentanlage siehe Erläuterungen ab S. 45.

Der hydraulische Abgleich wurde 2010 von der Heizungsfirma durchgeführt, ein detaillierter Nachweis wurde vorgelegt und auf Plausibilität geprüft.

e. Warmwasserbereitung

Die Überprüfung der Dimensionierung des zentralen 300l-Warmwasserspeichers hat ergeben, dass dieser auf eine für eine Kindertagesstätte untypische Vollbenutzung aller Entnahmemarmaturen (Waschtische, Küchen, Duschen) ausgelegt wurde, d.h. ohne Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit.

Anhand von zwei Messreihen der verbrauchten Warmwassermenge wurde der durchschnittliche Tagesbedarf mit 285-333l ermittelt (Dezember 2011), so dass die KiTa theoretisch mit einer täglichen Speicherfüllung auskommen müsste (Annahme Wochenendnutzung).

Bei einer angenommenen Gleichzeitigkeit von 100 % bei Küchen und 50 % bei Waschtischen (Mittagspause) würde sich eine Speichergröße von 200l ergeben. Dies würde eine Energieeinsparung beim Aufheizen (10 auf 60°C) von 6 kWh pro Speicherladung bedeuten.

Die effektive Aufheizzeit des Speicherinhalts beträgt hierfür nur ca. 8 Minuten, wenn der Heizkessel Vorrang auf Warmwasserbereitung gibt.

Denkbar wäre auch eine Frischwasserstation, ggf. mit solarer Vorrangschaltung.

f. Raumluftechnik

Bei der Überprüfung der Regelungseinstellungen an den beiden Lüftungsgeräten EG/OG sind folgende Punkte aufgefallen, welche aber noch nicht weiter geklärt bzw. beseitigt sind:

- Beide Lüftungsgeräte werden mit unterschiedlichen Betriebsarten gefahren (EG Comfort-Manuell, OG Automatik).
- Die Nachtkühlung lässt sich nicht im Comfort-Betrieb aktivieren (EG).
- Die Werte für Außentemperatur und Raumtemperatur sind vertauscht (auch bei Nachtkühlung).
- Warum wird im EG keine, im OG aber eine Außenkompensierung gewählt?
- Am Lüftungsgerät EG kann der Sollwert für die Zulufttemperatur nicht gesenkt werden (Bereich 21-25°C fix). Dies wäre interessant, da über das Betriebsjahr gesehen die Abluft mindestens 23,8°C betrug.
- Die Funktion des 3-Wege-Mischventils vor dem Erhitzer wurde geprüft (Lüftung EG).

Anhand der durchgeführten Messungen von Wirkleistung und Volumenstrom am EG-Lüftungsgerät kann hier der (abluftseitige) effektive, trockene Wärmebereitstellungsgrad (nach Passivhaus-Institut Darmstadt) ermittelt werden. Zugrundegelegt wurden ausbalancierte Luftmengen für Zuluft/Abluft.

- im Februar 2011 Lüftungsstufe 2: 50,2 %
- im Juli 2011 Lüftungsstufe 3: 0 %
- im Januar 2012 Lüftungsstufe 5: 43,6 %

Allerdings bleibt in dieser Berechnung die Kondensationswärme (latente Wärme), die bei üblicher feuchter Abluft anfällt, unberücksichtigt. Der tatsächliche Wärmebereitstellungsgrad liegt deshalb etwas höher (ca. 5 %).

3.3.5 Ökologische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand des Handelns/der Technik

Verglichen werden die Sollwerte für Heizungs- und Strombedarf gemäß Energieeinsparverordnung 2007 und 2009 und die tatsächlichen Verbräuche in den ersten zwei Betriebsjahren. Den Bedarfen und Verbräuchen für Heizung und Strom in kWh werden jeweils die energiebedingten CO₂-Emissionen zugeordnet: Wärme 0,214 kg/kWh, Strom 0,60 kg/kWh.

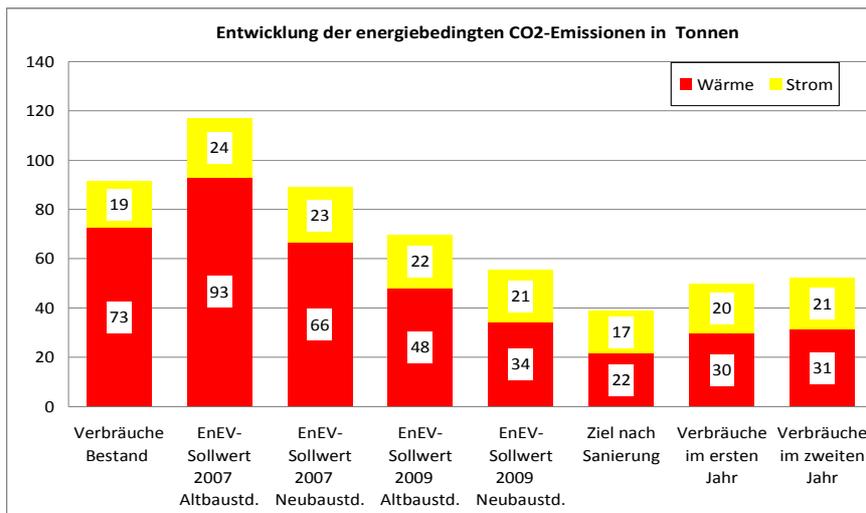


Diagramm 27: Energiebedingte CO₂-Emissionen

Der deutliche Unterschied der besseren ökologischen Ausführung der realisierten KiTa ist erkennbar. Etwa 78 Tonnen CO₂ sollen beim Sanierungsziel weniger emittiert werden als bei der bauordnungsrechtlichen Anforderung nach EnEV 2007-Altbau. Im Moment (2. Betriebsjahr) sind es real lediglich 39 Tonnen gegenüber der Bestandssituation.

Mit den Primärenergiefaktoren (Wärme 1,1 kg/kWh, Strom 2,60 kg/kWh (EnEV)) werden die Bedarfe und Verbräuche für Heizung und Strom in kWh/m² primärenergetisch bewertet.

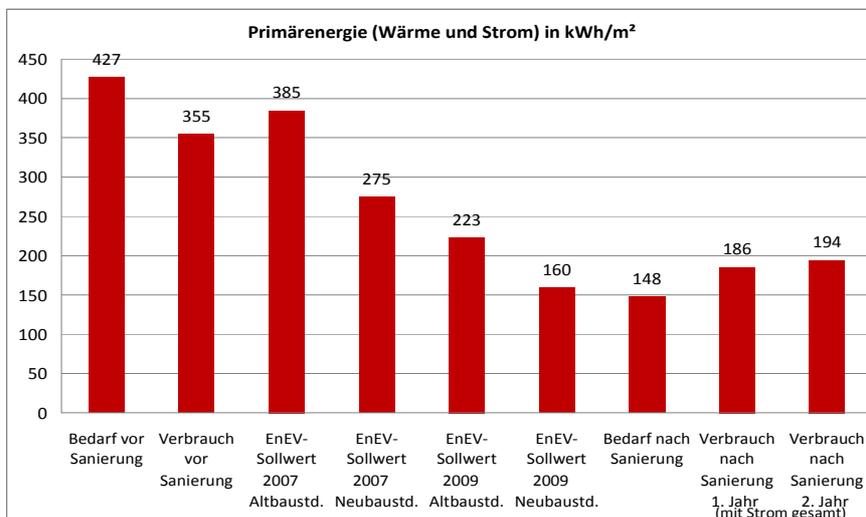


Diagramm 28: Primärenergetische Bewertung

Auch hier ist zu erkennen, obwohl die Ziele im ersten bzw. zweiten Betriebsjahr noch nicht erreicht werden, dass die Verbrauchswerte deutlich unter den bauordnungsrechtlichen Anforderungen und natürlich unter der Bestandssituation liegen. Die Anforderungen der EnEV 2007 an einen Altbau werden um 61,5 % unterschritten, die Anforderungen der EnEV 2007 an einen Neubau um 46 %. Selbst die Anforderungen der EnEV 2009 an einen Altbau werden immerhin noch um 34 % und die Anforderungen der ENEV 2009 an einen Neubau noch um 7 % unterschritten.

3.3.6 Ökonomische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand des Handelns/der Technik

Im Diagramm ist die Entwicklung der Energiekosten gemäß Bestand, EnEV-Standard, Sanierungsziel und den Verbräuchen in den ersten beiden Betriebsjahren dargestellt.

Die Einsparung zwischen der bauordnungsrechtlich erforderlichen Planung EnEV 2007-Altbau und dem Sanierungsziel beträgt ca. 19.700 EUR/Jahr (Kostenniveau 2010/2011). Tatsächlich erreicht wurden im ersten Jahr ca. 16.700 EUR.

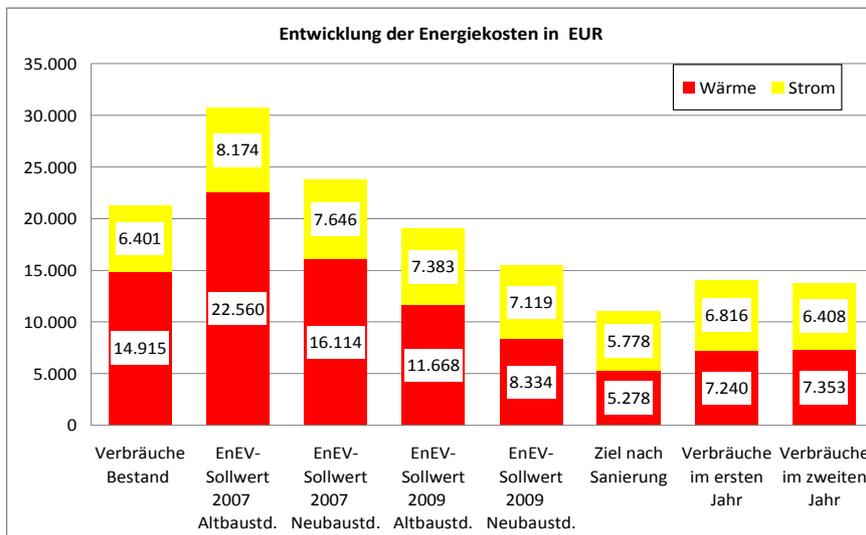


Diagramm 29: Energiekosten für Wärme und Strom

Die Gesamtinvestitionskosten betragen gegenwärtig etwa 2,48 Mio. EUR brutto. Für die gewählte Anlagentechnik, Gasbrennwertkessel mit zentraler Warmwasserbereitung und Solarthermieanlage mit Latentwärmespeichern sowie den umfassenden Wärmedämmmaßnahmen werden ca. 115.000 EUR geschätzte Mehrkosten für den verbesserten energetischen Standard angesetzt (4,6 %, 88,81 EUR/m² NGF). Die statische Amortisationszeit beträgt damit etwa 6 Jahre gegenüber einer Standardausführung auf Basis der Bezugs-Energieeinsparverordnung 2007.

In der nachfolgenden Grafik sind die mittleren jährlichen Gesamtkosten der beiden Varianten (V-0: EnEV-Variante, V-1: Sanierungszielvariante) dargestellt (Betrachtungszeitraum 40 Jahre). Dabei wurden die aktuellen Energiepreise, Energiepreissteigerungen, Kapitalkosten und die gewährten Förderungen berücksichtigt.

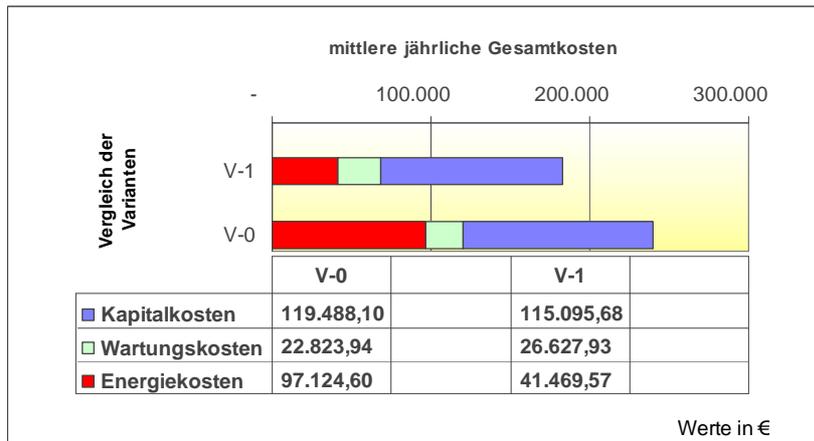


Diagramm 30: Mittlere jährliche Gesamtkosten Varianten

3.3.7 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Seit Fertigstellung des Gebäudes ist bisher ein Erfahrungs- und Wissenstransfer wie folgt gestaltet worden:

Vorstellung des Projekts bei einschlägigen Kongressen und Tagungen:

- Energietag der Bayerischen Ingenieurekammer Bau in Nürnberg 03.11.2008
- Energietag der Bayerischen Ingenieurekammer Bau in Passau 10.11.2008
- Institut für Städtebau und Energie Berlin am 28.11.2008
- Tagung Schulbau im Kontext von Ökonomie und Ökologie DBU Osnabrück 27./28.09.2010
- Kongress der kommunalen Energiebeauftragten DiFu Goslar 21./22.03.2011
- Tagung Energieeffizienz in Brandenburger Kommunen 21.06.2011
- Tagung Bayerische Landesbank - Kommunales Energiemanagement und energetische Gebäudesanierung 16.05.2012.

Erstellung einer Broschüre/Projektinfo (Reihe des Kommunalen Energiemanagements Nürnberg), Verteilung an alle Projektbeteiligten (in Vorbereitung).

Infotafel im Gebäude (in Vorbereitung).

Die gemachten praktischen Erfahrungen und auch die tatsächlichen Wirkungen von Solar-/ Latentanlage sowie neuartiger VIP-Dämmung können auf diesem Wege erläutert und weitergegeben werden.

4. Fazit

Das in den ersten beiden Betriebsjahren von KEM in Zusammenarbeit mit dem Nutzerpersonal durchgeführte Monitoring konnte zeigen, dass sich das geplante Sanierungskonzept im Wesentlichen bewährt hat. Das Gebäude wird von allen Nutzern sehr gut angenommen. Es ergaben sich überwiegend hohe Behaglichkeiten und Raumluftqualitäten. Punktabzug gibt es jedoch für die Heizungstechnik. Die Energieverbräuche von Wärme und Strom und damit auch die primärenergetische Bewertung der Kindertagesstätte sind zwar noch höher als die ursprünglichen Zielwerte, aber deutlich geringer als sie bei einer Standardbauweise nach aktueller EnEV gewesen wären.

Die Darstellungen des Primärenergiebedarfes (s. Diagramm 28) und des spezifischen Transmissionswärmeverlustes (s. Diagramm 31) zeigen aber auch, dass das Anforderungsniveau der EnEV 2007 an einen Neubau und selbst der EnEV 2009 an einen Altbau nicht wirklich anspruchsvoll und mit der realisierten Sanierung leicht zu erreichen gewesen ist.

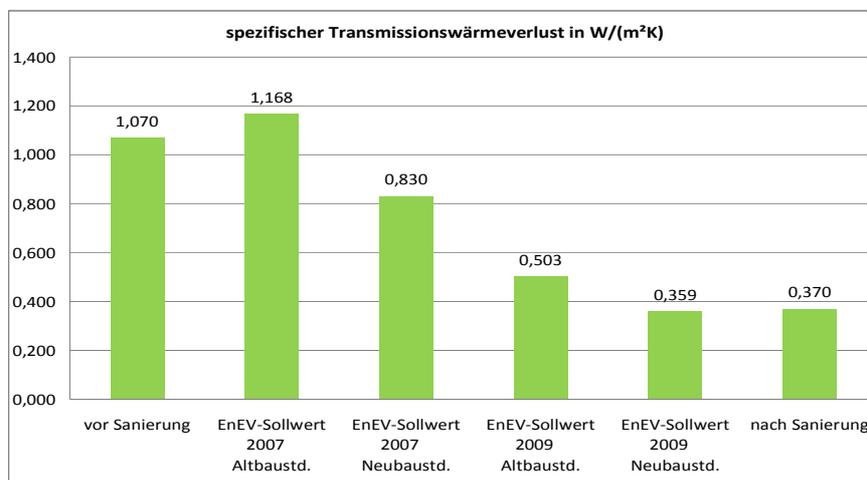


Diagramm 31: Bewertung spez. Transmissionswärmeverlust

Die Anforderungen der EnEV 2007 an einen Altbau werden um 68 %, an einen Neubau um 55 % unterschritten. Selbst die Anforderungen der EnEV 2009 an einen Altbau werden immerhin noch um 26 % unterschritten. Nur die Anforderungen an einen Neubau nach EnEV 2009 werden um etwa 3 % überschritten.

Für eine weitere Senkung der Verbräuche in Richtung der gesetzten Ziele ist die Monitoringphase noch mindestens ein Jahr weiter zu betreiben, um die noch möglichen Optimierungsmaßnahmen umsetzen zu können. Dazu gehört auch der schon lange überfällige Umbau der Solar-/Latenteinbindung als zentrales Element.

Das Sanierungskonzept war hinsichtlich des Wärmeschutzes die richtige Lösung. Aber auch für den anlagentechnischen Teil waren die konzipierten Maßnahmen geeignet, eine hohe Energieeffizienz zu erreichen. Dass die anspruchsvollen Ziele im Verbrauch und insbesondere bei der Funktion der Solar-/Latentanlage nicht in dem Maße, wie gewollt, erfüllt wurden, liegt weniger an der Technologie als an der nicht in allen Punkten zufriedenstellenden Umsetzung von Seiten Planungsbüro bzw. Heizungsfirma.

Schlussendlich spielt gerade bei einer KiTa die pädagogische Komponente hinsichtlich Erziehung, Beispiel- und Multiplikatorwirkung auf und mit unseren kleinsten Nutzern eine herausragende Rolle. Das diesbezügliche Optimierungspotenzial versiegt allerdings nie, d.h., Nutzersensibilisierung und –beeinflussung ist und bleibt eine Daueraufgabe.

Literaturverzeichnis

- [Rath10] RATHLEV, J.: *Physikalisches Praktikum für Anfänger*, Internet-pdf, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der Universität Kiel, Mai 2010.
- [UBA08] UMWELTBUNDESAMT: *Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft*, Internet-pdf (Bundesgesundheitsbl. - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2008 · 51:1358–1369), Berlin, 2008.

Anhänge

Grundrisse
Schnitte
Zähler- und Messwertübersicht
Übersicht installierte Pumpen
Übersicht Geräte an Steckdosen
MSR-Anlagenschema Heizung
Thermografierereport