

## Projekt 2012-1

**Integrale Sanierung und Erweiterung auf Passivhausniveau unter optimaler Nutzung des Istzustands mit Monitoring nachgewiesen**

### **Abschlussbericht Juni 2014**

Projektlaufzeit Juni 2011 bis Juni 2014



Objekt	<b>Kindergarten Hintermatt, Stadt Schopfheim</b>
Antragsteller:	Stadt Schopfheim Hauptstrasse 31 79650 Schopfheim
Förderung durch:	Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG
Architektur	Kuri Architekten Belchenstrasse 80 79650 Schopfheim
Projektkoordinator:	Siegfried Delzer / Delzer Kybernetik GmbH Ritterstrasse 51 79541 Lörrach Telefon: 07621 / 9577-12 Fax(-20) Email: <a href="mailto:s.delzer@delzer.de">s.delzer@delzer.de</a>

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>PROJEKT 2012-1</b> .....	<b>1</b>
<b>1 PROJEKTBSCHREIBUNG WIE IM ANTRAG FORMULIERT</b> .....	<b>3</b>
<b>2 ZIELSETZUNG MIT INTEGRALER PLANUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>3 VORGEHENSWEISE</b> .....	<b>7</b>
3.1 SYSTEMSCHEID MITTELS DYNAMISCHER SIMULATION.....	7
3.2 UMSETZUNG.....	8
3.3 REGELUNGSTECHNIK.....	8
3.4 MONITORING UND WARTUNG VIA INTERNET.....	8
3.5 LEITSYSTEM FÜR DAS MANAGEMENT UND MESSDATENERFASSUNG.....	9
3.6 MONITORING.....	9
3.7 ENERGIEBEDARF.....	10
3.7.1 ERGEBNIS IM ERSTEN WINTER.....	10
3.7.2 ERGEBNIS IM ZWEITEN WINTER.....	10
<b>4 ARBEITSERGEBNISSE</b> .....	<b>13</b>
4.1 SIMULATIONSMODELL.....	13
4.2 UMSETZUNG.....	13
4.3 ERGEBNISSE BEIM ENERGIEBEDARF.....	13
4.4 BEHAGLICHKEIT.....	13
4.4.1 BEHAGLICHKEIT IM WINTER.....	14
4.4.2 BEHAGLICHKEIT AM TROPENTAG IM SOMMER.....	16
4.5 WAND MIT POLYKARBONATFASSADE.....	18
<b>5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT</b> .....	<b>22</b>
5.1 VERANSTALTUNGEN DER STADT SCHOPFHEIM.....	22
5.2 ARTIKEL REGIONALE PRESSE.....	22
5.3 VORTRÄGE DELZER.....	22
<b>6 ERKENNTNISSE</b> .....	<b>23</b>
6.1 HAUSTECHNIK.....	23
6.2 ENERGIEMANAGEMENT.....	23
6.3 SCHLUSSFOLGERUNG FÜR DIE ENERGIEWENDE.....	23
6.4 ZUSAMMENFASSUNG.....	23

## **1 Projektbeschreibung wie im Antrag formuliert**

Der Kindergarten Hintermatt in 79650 Schopfheim soll saniert und aufgestockt werden.

Mit den Sanierungsmaßnahmen soll die energetische Effizienz stark verbessert werden.

Die vorhandenen Aussenwände bleiben erhalten und werden mit transparenter Wärmedämmung (TWD), die gleichzeitig als Luftkollektoren für die Luftvorwärmung genutzt werden, energetisch verbessert. Mit der vorgewärmten Zuluft kann auf einen Frostschutz bei der Wärmerückgewinnung verzichtet werden.

Die Aufstockung des Gebäudes wird mit einer Holzständerkonstruktion realisiert, die ebenfalls mit der gleichen TWD mit Luftkollektoren ausgerüstet ist. Das Dach wird hochwertig isoliert, so dass der Energiebedarf klein ist.

Die Versorgung erfolgt zur Zeit mit leichtem Heizöl und soll möglichst effizient umgerüstet werden, und die technische Anlage soll auch einfach bedienbar sein.

Das Dach ist so geplant, dass eine hohe Tageslichtleistung im Winter erreicht wird. Für eine hohe Albedo (Reflexion der Sonnenstrahlung auf die Fensterflächen und Solarkollektoren) wird Titanzink für die Dachbedeckung eingesetzt.

Als Energiequellen sind thermische Solarkollektoren mit hoher Albedo über die Dachfläche für das Brauchwasser und die Heizungsunterstützung sowie Luftkollektoren vor den Fassaden und vier Erdsonden vorgesehen. Die erforderlichen Temperaturen für die Heizung werden mittels Wärmepumpe mit hoher Leistungszahl (Effizienz) erzeugt. Das vorgegebene Budget erzwingt eine minimierte Auslegung der Solarsysteme und der Geothermie, so dass Reserven zur sicheren Funktion mit einem sehr guten Energiemanagement erreicht werden sollen.

Es geht um das Zusammenspiel von Luftkollektoren in Verbindung mit der Wärmerückgewinnung, der Solaranlage und der Geothermie sowie den internen Wärmelasten durch die Kinder etc..

Mit den getroffenen Massnahmen wird der Energiebedarf auf Passivhausniveau gebracht.

Dafür ist ein Energiemanagement erforderlich, welches im Sommer eine gute Behaglichkeit in den Räumen erzeugt und gleichzeitig die Erdsonden regeneriert, damit im Winter ausreichend Wärmeenergie mit hoher Effizienz zur Verfügung steht.

Zur weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades wird ein geschlossener Kreislauf im Heiz- und Erdsondensystem verwendet. Das ermöglicht die direkte Kühlung mittels Erdsonden und verbessert so den Strombedarf für Zirkulations-Pumpen und die zweistufige Wärmepumpe. Auf der anderen Seite müssen die Erdsonden immer oberhalb des Gefrierpunktes von Wasser betrieben werden. Das begrenzt die Energiereserven in den Erdsonden.

Die Massnahmen sind platzsparend, da mit einem zusätzlichen Wandaufbau von ca. 10 cm ca. 25 cm Vollwärmeschutz ersetzt werden. Die Dimensionierung der Erdsondenanlage ist im Vergleich zur Standardauslegung für regenerative Systeme ca. 1/3 kleiner, sonst wäre das Konzept von den Kosten her nicht machbar. Mit einem sehr guten Energiemanagement, das auch die Wetterdaten und Wetterprognose nutzt, soll die minimierte Anlage in eine stabile Funktion gebracht werden.

Wenn die Entwicklungskosten einmal getätigt sind, ist das Management in den Kosten vergleichbar mit herkömmlichen Regelungen. Gleichzeitig können zukünftig die Investitionen für Energieeinsparmassnahmen durch fehlende Überdimensionierung um ca. 1/3 reduziert werden.

#### Darstellung des Reduzierungspotenzials von klimaschädigenden Stoffen/Schadstoffen

Die getroffenen Massnahmen schonen den Bestand und bringen den Energiebedarf auf Passivhausniveau ( $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ). Dieser Wert wurde mittels dynamischer Simulation mit DK-INTEGRAL nachgewiesen. Nach EnEV berechnet wäre der Wert ca. fünfmal so hoch und würde bei  $65 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  liegen, da hier die dynamischen Wechselwirkungen nicht berücksichtigt werden können.

Der Ausgangszustand (Zustand vor der Sanierung) liegt dynamisch simuliert bei  $68 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , was dem realen Verbrauch entspricht. Nach EnEV sollte der Wert bei  $172 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  liegen, was viel zu hoch ist.

Wird die realitätsnahe dynamische Simulation als Basis genommen, wird eine Einsparung von ca. 80% an klimaschädigenden Stoffen/Schadstoffen alleine durch die Energiebedarfsminderung erreicht. Da die Heizenergie mittels thermischen Solarkollektoren und Geothermie mit Elektrowärmepumpe bereitgestellt wird, werden die Schadstoffe nochmals deutlich reduziert.

## **2 Zielsetzung mit integraler Planung**

Der Kostenrahmen des Projektes war sehr eng, trotzdem sollte eine weitreichende Minderung des Energiebedarfs und der Schadstoffe erreicht werden. Mit Standardmethoden wäre das nicht möglich gewesen. Mittels integraler dynamischer Simulation wurde eine angepasste Optimierung der Komponenten in Verbindung mit einem Energiemanagementsystem entwickelt, das ein optimiertes Zusammenspiel der Anlage sicherstellt. Mit diese Vorgehensweise kann bei allen Sanierungen ein deutlich besseres Ergebnis bei der Einsparung von klimaschädigenden Stoffen/ Schadstoffen erreicht werden.

Voraussetzung ist der Einsatz eines angepassten Planungswerkzeugs, das einfach zu bedienen ist und ein Energiemanager, der zu vergleichbaren Kosten wie Standardregler verfügbar ist.

Folgende innovative Ideen sind für die integrale Lösung zum Tragen gekommen:

1. Integrale Planung mit Bauherr, Architekt, Hauskybernetik, Haustechnikplanung, Lieferanten der Fassadenelemente.
2. Energiefassade: Transparente Wärmedämmung als Luftkollektor für die Luftvorwärmung und Erdsondenregeneration. Gleichzeitig kann auf den Frostschutz bei der Wärmerückgewinnung verzichtet werden.
3. Dachausführung für optimierte Tageslichtnutzung und thermische Solarenergie durch optimierte Albedo über die reflektierende Dachfläche.
4. Erdsonden mit Wasserfüllung ohne Glykol. Das optimiert den Strombedarf bei den Zirkulationspumpen und bei der Wärmepumpe.
5. Regeneration der Erdsonden mit thermischen Solarkollektoren und mit der Kühlung der Zuluft aus der Energiefassade. Gleichzeitig werden die Gruppenräume über die Zu- und Umluft gekühlt.
6. Energiemanager  
Hier wird entschieden, wie die Energie für die Heizung, Kühlung und Regeneration der Erdsonden bereitgestellt wird.

Darstellung der Notwendigkeit eines Zuschusses aus dem Innovationsfonds:

Das vorhandene Budget ermöglicht nicht so ein zukunftsweisendes Konzept und die Sanierung müsste auf dem Niveau der EnEV 2009-Vorgaben erfolgen. Die Einsparung würde nur bei ca. 50 % und nicht bei 80% liegen. Der Ersatz des Heizöls durch eine andere Wärmequelle wäre ebenfalls nicht möglich, da der verfügbare Platz und lange Wege zum Erdgasnetz für den höheren Energiebedarf zu teuer sind.

Bei einer Einsparung von ca. 50% statt 80% müsste das Erdsondenfeld fast drei mal so gross sein.

Mit dem genehmigten Zuschuss durch den Badenova Innovationsfonds wurden folgende Mehrkosten für das Pilotprojekt abgedeckt:

1. Energiefassade (Planung und Betreuung)
2. Energiemanager (Planung und Umsetzung als Basis für eine Standardlösung)
3. Planungstool (Anpassungen an das Konzept zur einfachen Optimierung für Dritte)
4. Nachweis der Machbarkeit und einfache Übertragbarkeit auf Sanierungsprojekte
5. Öffentlichkeitsarbeit  
Veröffentlichung der Ergebnisse als Multiplikator zur Einsparung bei den Investitions- und Betriebskosten für Sanierungsprojekte, die in den nächsten Jahren dringend durchgeführt werden müssen.

Umfang der durch das Projekt eventuell ausgelösten Folgeinvestitionen (auch Dritter)

Vergleichbare Sanierungsprojekte werden zügiger und auf ein deutlich besseres Niveau saniert, da weniger Investitionsmittel notwendig sind.

Entwicklung von Energiemanagern auf breiter Basis, wenn der Nutzen nachgewiesen ist.

Planungstools zur sicheren Auslegung der Komponenten (Solarflächen, Geothermie, etc.).

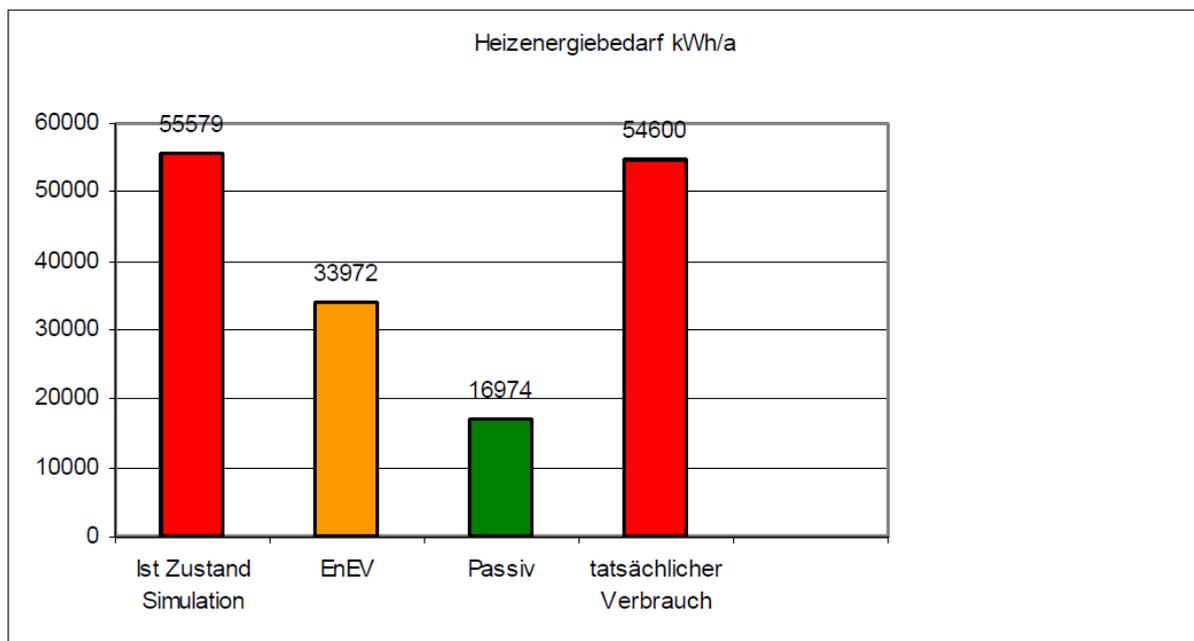
### 3 Vorgehensweise

#### 3.1 Systementscheid mittels dynamischer Simulation

Bei der Planung wurden die meisten Entscheidungen mittels dynamischer Simulation getroffen. Dafür waren folgende Schritte notwendig:

1. Erfassen des Istzustandes des Gebäudes. Damit sind die Stärken und Schwächen des Bestand-Gebäudes bekannt.  
Bei der Sanierung wurden gezielt die Schwächen beseitigt und die Stärken weiter integral genutzt.
2. Analyse des ersten Entwurfs mit Kosten-Nutzen-Optimierung.  
Dabei wurden zum Beispiel folgende Punkte entschieden:
  1. Die Fenster im Bestand bleiben und werden nur saniert.
  2. Die Oberlichter werden von der Nord-Richtung um 180° nach Süd gedreht (siehe Titelbild). Das Dach wurde in Titanzink ausgeführt, so dass die Reflexion die Oberlichtersituation und die Einstrahlung auf die thermischen Kollektoren verbessert.  
Ergebnis: deutlich höherer Nutzen bei gleichen Kosten/ohne Mehrkosten

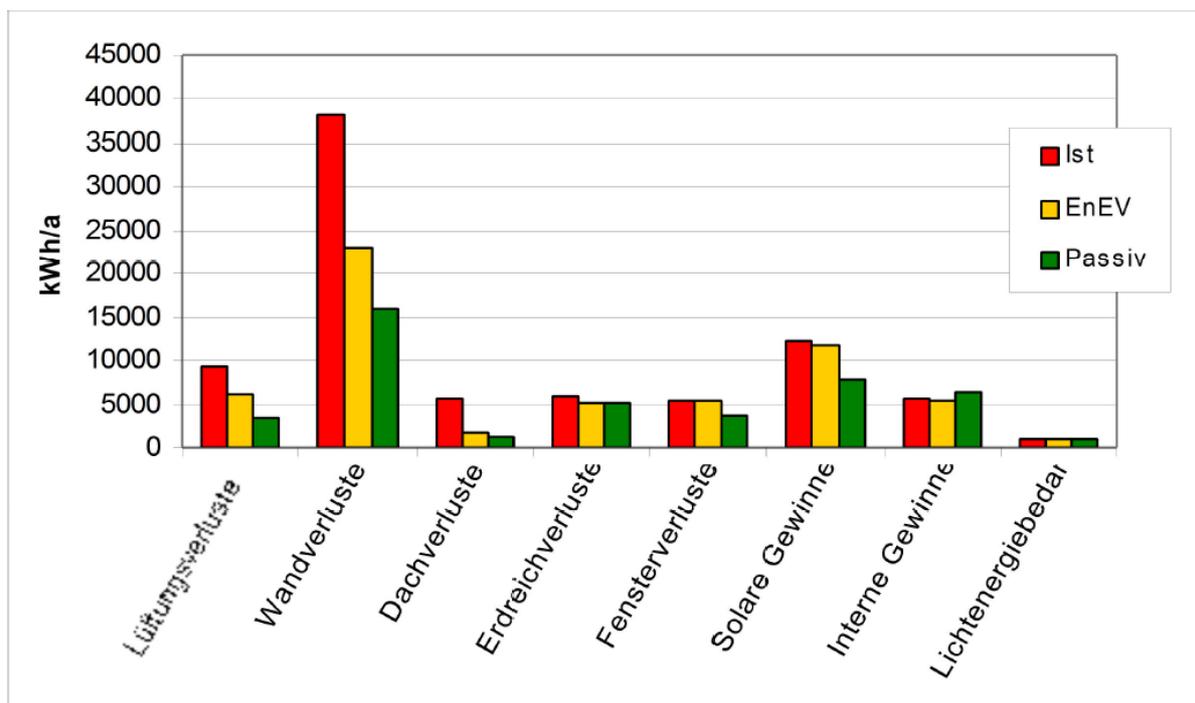
#### Vergleich Bestand und Sanierungsvarianten



Grafik 3.1.1 Energiebedarf Istzustand / Sanierung mit Aufstockung

Beim Vergleich der Optimierung beim Energiebedarf ist mit zu berücksichtigen, dass mit der Sanierung durch die Aufstockung das Gebäude-Volumen fast verdoppelt wurde.

## Auswirkungen der Sanierung auf den Bestand



Grafik 3.1.2 Gewinne-Verluste Bereiche zugeordnet

Die Einsparung ist bei den Wänden in der Grafik nicht so hoch. Der Grund dafür ist die Verdoppelung der Wandflächen und bei der Lüftung das ca. doppelte Volumen.

### 3.2 Umsetzung

Die Planung und Umsetzung aller Arbeiten erfolgte in direkter Abstimmung zwischen Architekt, HLK-Planung und Energieberater.

Für alle Bereiche gab es ein Lösungskonzept, das aber nicht bindend für die ausführenden Firmen war. Mit den Herstellern und den ausführenden Firmen wurde das Konzept besprochen, so dass deren Erfahrung mit in das Projekt einfließen konnte. Das führte zu Vereinfachungen in der Umsetzung und teilweise zu einer besseren Funktionalität.

### 3.3 Regelungstechnik

Die Regelungstechnik wurde mit einer frei programmierbaren Steuerung aus dem Industriebereich realisiert. Diese Geräte stehen für hohe Funktionalität, gutes Preis-Leistungsverhältnis und hohes Qualitätsniveau. Die Schnittstellen zu allen gängigen Bus-Systemen von CAN, LON, Ethernet bis zum EIB-KNX stehen ebenfalls zur Verfügung und können so einfach parallel in das Netz integriert werden.

### 3.4 Monitoring und Wartung via Internet

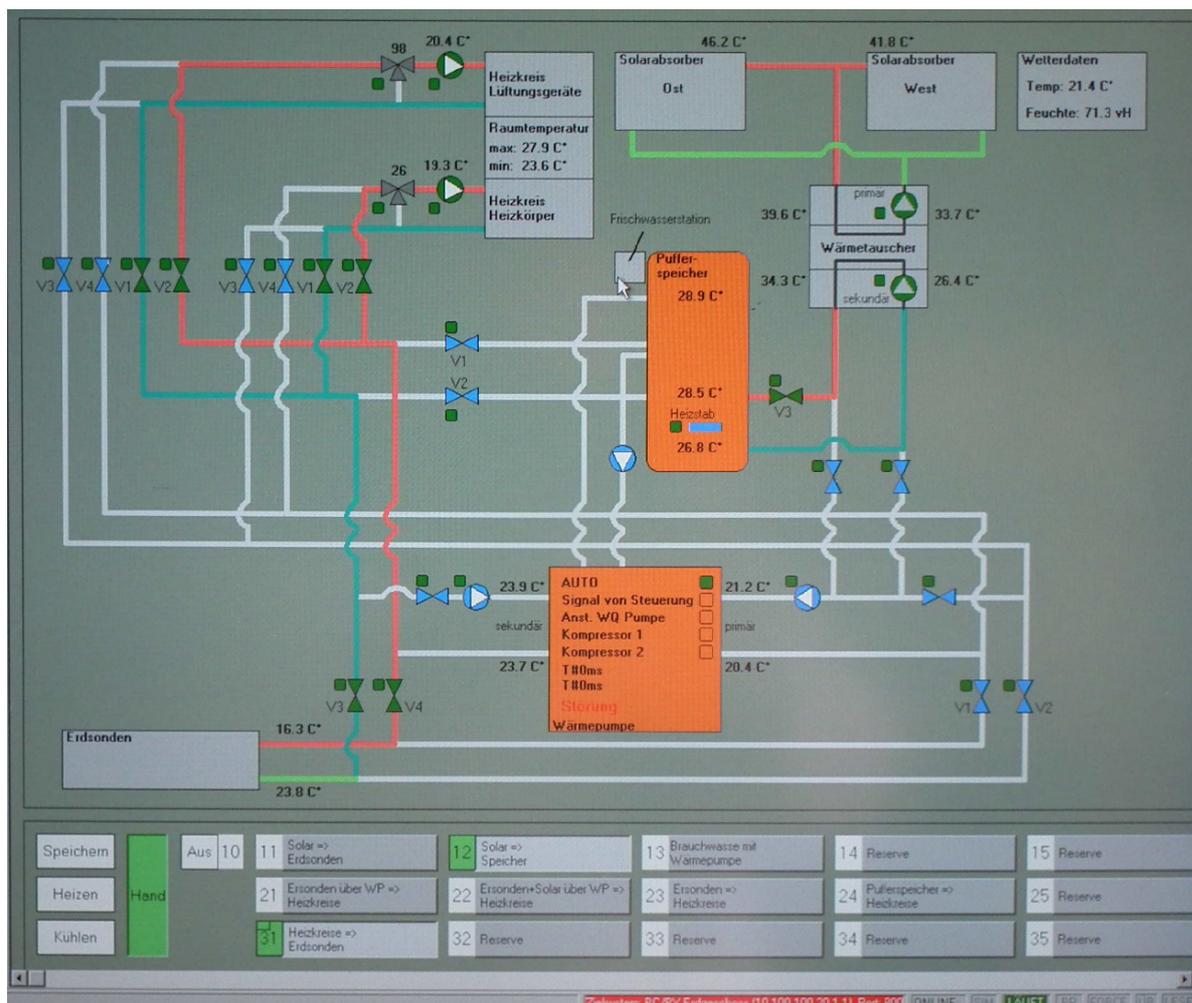
Via Internet wurde die Anlage betreut, Fehlfunktionen konnten so schnell erkannt oder beseitigt werden.

### 3.5 Leitsystem für das Management und Messdatenerfassung

Für die Implementierung des Leitsystems wurde ein Industrie-Laptop eingesetzt. Damit wurde die gesamte Kommunikation per Internet durchgeführt wie die Fernwartung und Datenübertragung der Messdaten.

### 3.6 Monitoring

Die Sensoren für Wetter, Räume und Anlagentechnik haben sich in der Praxis als ausreichend erwiesen. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Gebäude nicht mit Sensoren überladen wurde, was für eine Übertragbarkeit auf weitere Projekte hinderlich wäre.



Schema 3.6.1 Schema der Hydraulik im Leitsystem  
Die Regelungstechnik und das Leitsystem wurde von der Automatisierungstechnik Wünnenberg in Staufen geliefert.

### 3.7 Energiebedarf

#### 3.7.1 Ergebnis im ersten Winter

#### Vergleich Prognose 2011 Verbrauch Juli 2012 bis Juli 2013 real gemessen

Prognose 12. September 2011 war:

Bereiche	kWh/a
Heizen-Kühlen-Brauchwasser	5852,12
Pumpenergie Erdsonden	1500,00
Lüftung / Heizung / Kühlung	3000,00
Beleuchtung	9303,40
Kindergarten allgemein	20000,00
<b>Gesamt kWh/a</b>	<b>39655,52</b>

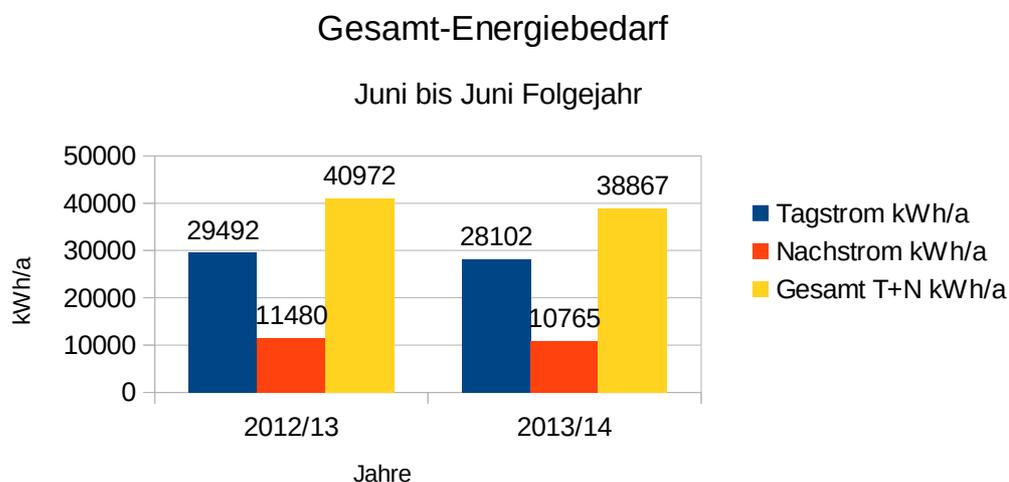
Zählerstand Juli 2013 ca. 41 000 kWh/a

Tabelle 3.7.1.1 Prognose 2011 mit dem Zählerstand Juli 2013.

Im ersten Betriebsjahr 2012/2013 wurden ca. 2 000 kWh mehr Strom verbraucht als in der Prognose angenommen. Das sind ca. 5% Abweichung zur Prognose, diese Abweichung ist klein und mit den Wetterschwankungen und dem Nutzerverhalten begründbar. Unabhängig davon hat die Optimierung mittels Monitoring im Folgejahr 2013/2014 zu einer Reduktion des Energiebedarfs geführt.

#### 3.7.2 Ergebnis im zweiten Winter

Der Strombedarf beträgt von Juni 2013 bis Juni 2014 ca. 39 000 kWh/a, das sind ca. 2 000 kWh/a weniger als im ersten Betriebsjahr.



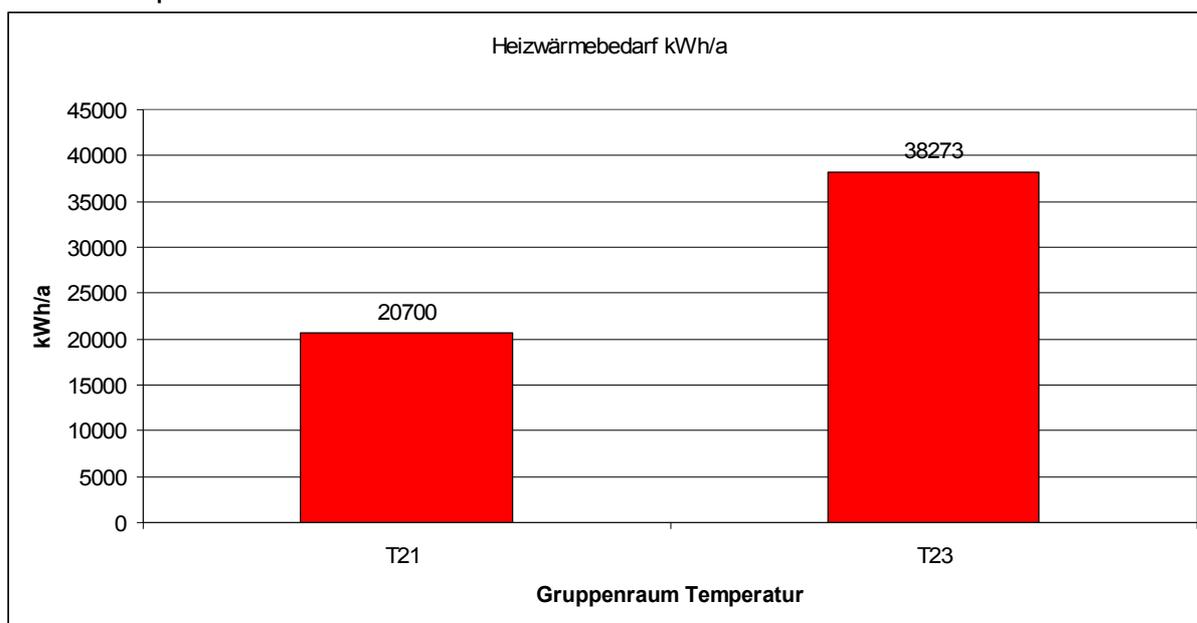
Grafik 3.7.2.1 Vergleich Gesamt-Strombedarf für die ersten 2 Jahre

Die erste Prognose vom 12. September 2011 war vorsichtig, da das Nutzerverhalten nicht vorhersehbar ist. Dass im zweiten Jahr der Verbrauch reduziert wurde, liegt zum Teil am Nutzerverhalten. Ein weiterer Teil der Reduktion ist auch durch den milderen zweiten Winter ausgelöst worden.

Im Vergleich zu unserer Analyse mittels dynamischer Simulation sind die geforderten Temperaturen in den Gruppenräumen mit 23°C und die Temperaturen am Abend und am Wochenende mit 20°C deutlich höher, da die Räume teilweise auch am Abend und an den Wochenenden genutzt werden. Das hat dazu geführt, dass die vorsichtige Prognose nicht unterschritten wurde.

Der Heizenergiebedarf wird stark durch höhere Raumtemperaturen beeinflusst. Die alte Regel, dass eine 1 Kelvin höhere Raumtemperatur ca. 5 % höheren Energieverbrauch erzeugt, gilt nicht für Gebäude mit tiefem Energieverbrauch.

Die folgende Grafik zeigt die Zusammenhänge bei einer Steigerung der Raumtemperatur von 21°C auf 23°C auf.



Grafik 3.7.2.2 Heizenergiebedarf bei 21 und 23 °C Raumtemperatur

Die zwei Kelvin höheren Temperaturen in den Gruppenräumen steigern den Heizenergiebedarf fast um 100 %. Das ist erstaunlich und nicht so einfach nachvollziehbar. Ein Gedankenexperiment soll hier weiter helfen.

Ohne Heizung kühlen Niedrigenergiehäuser im Winter auf ca. 12 °C aus, die alten Gebäude kühlen auf Temperaturen von ca. 0°C aus. Soll das alte Gebäude auf minimal 12 °C gehalten werden, dann müssten immer noch ca. 60 % der Heizenergie im Vergleich zur Standardnutzung aufgewendet werden, während das Niedrigenergiehaus noch keine Energie benötigt. Bei einer Temperaturdifferenz von 20 Kelvin sind das ca. 5% pro Kelvin Temperaturänderung für den Altbau.

Für das Niedrigenergiehaus mit 8 Kelvin Temperaturdifferenz zu 20°C sind es ca. 12 % pro Kelvin.

Das ist natürlich nur eine grobe Vereinfachung bei der Betrachtung, diese zeigt aber klar, dass einfache prozentuale Betrachtungen hier nicht zulässig sind.

Absolut betrachtet sind natürlich bei einer Raumtemperaturanhebung von 2 Kelvin beim Altbau 10% Heizenergieanstieg deutlich mehr als die 100% Anstieg bei einem Passivhaus.

## **4 Arbeitsergebnisse**

### **4.1 Simulationsmodell**

In der Vorplanungsphase im Rahmen der ersten Energieberatung wurde ein Simulationsmodell erstellt, das die Machbarkeit und die Wirksamkeit des Konzeptes belegt. Simulationsmodelle sollten möglichst realitätsnah sein. Es ist deshalb sehr wichtig, Modelle durch Rückkoppelung von Messungen aus der Praxis zu validieren und weiter zu optimieren.

Mittels dynamischer Simulation wurden die Erdsonden und die HLK-Anlage dimensioniert. Dabei wurden die Erdsonden auf Wirtschaftlichkeit hin minimal dimensioniert. Die in der Betriebszeit gesammelten Erfahrungen zeigen, dass eine Volldeckung des Energiebedarfs für Heizung und Brauchwasser erreicht wird.

### **4.2 Umsetzung**

Die zeitnahe Umsetzung und Inbetriebnahme der HLK-Anlage wurde erreicht. Dabei wurden noch weitere Optimierungen wie die Einstellmöglichkeit der Raumtemperatur vor Ort in den Räumen integriert. Hierbei sind im Betrieb folgende Mängel festgestellt worden:

1. Die Raumregelgeräte haben nicht in allen Punkten funktioniert. Über die Rückmeldung der Nutzer wurden im Rahmen des Monitorings die Fehlfunktionen ermittelt und danach vom Lieferanten ausgetauscht.
2. Die Zuluft war zu stark spürbar, da in den Gruppenräumen im Wechsel die gesamte Raumfläche genutzt wird. Mit Gewebeschläuchen wurde das Problem perfekt gelöst. Im Nachgang wurde im Sommer über stehende Luft geklagt.
3. Der Sonnenschutz wurde nicht mit der effizienten Tageslichtnutzung umgesetzt, das hat sich im Nachgang als Nachteil erwiesen.

### **4.3 Ergebnisse beim Energiebedarf**

Der Energiebedarf wurde als Gesamtstrombedarf und den Betriebsdaten der Wärmepumpen ermittelt. Weiter sind die Daten im Rahmen des Monitorings erfasst, so dass jederzeit detaillierte Analysen durchgeführt werden können.

### **4.4 Behaglichkeit**

Das Thema Behaglichkeit oder besser die empfundene Behaglichkeit ist ein Dauerthema, das nicht für jeden zufriedenstellend gelöst werden kann. Das zeigen die wissenschaftlichen Untersuchungen. Auch bei diesem Projekt gab es Beschwerden zur Behaglichkeit im Sommer und im Winter, die rein messtechnisch nicht nachvollziehbar waren. Deshalb soll in diesem Kapitel dieses wichtige Thema etwas ausführlicher behandelt werden.

In der Heizphase sind folgende Temperaturen nach Nutzung in Räumen in der Regel behaglich:

1. Wohnzimmer 20 bis 24°C
2. Schlafzimmer 16 bis 20°C
3. Badezimmer 22 bis 24°C
4. Küche 18 bis 20°C
5. WC 18 bis 20°C
6. Flure 15 bis 18°C
7. Treppenhäuser 10 bis 15°C

Wie die Temperaturen empfunden werden, hängt stark vom persönlichen Zustand und der eigenen Aktivität ab.

Folgende Faustregel hilft ein Gefühl zu entwickeln, wie die Zusammenhänge sind und warum es nie gelingen kann, für alle Menschen die richtigen Behaglichkeitsbedingungen in Räumen einzustellen:

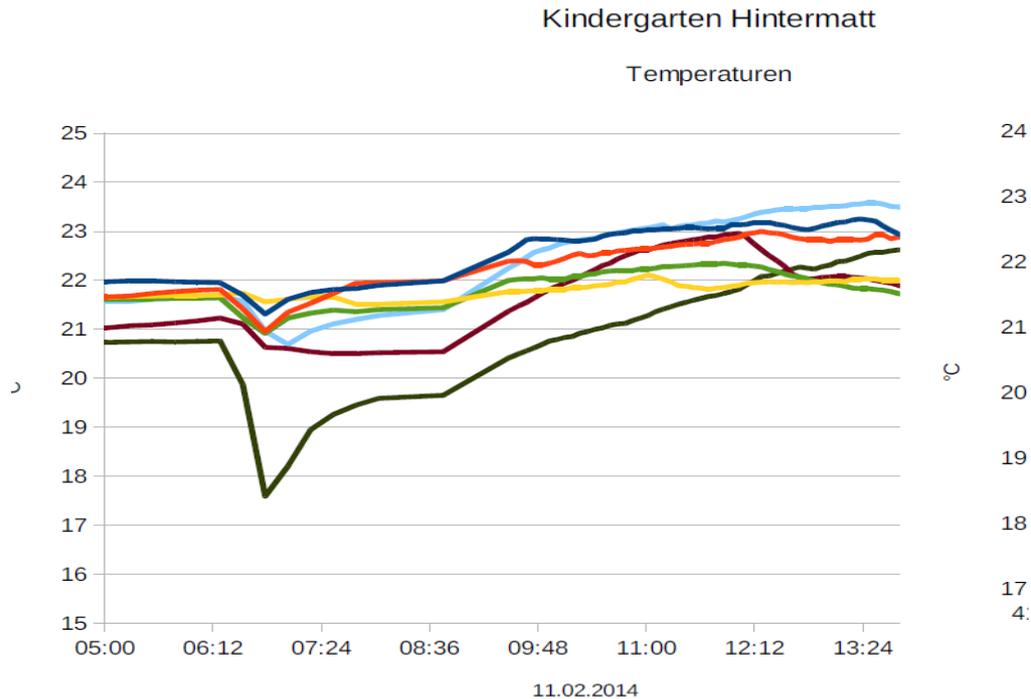
Der Energieumsatz im Körper kann bei gleicher leichter Tätigkeit um den Faktor 4 variieren (minimaler zu maximalem Energieumsatz). Dabei sind die Unterschiede zum Normalbetrieb in etwa wie folgt:

1. Der Energieumsatz wird halbiert, sobald der Körper einen Mangel bei der Energiezufuhr empfindet. Das Energiemanagementsystem des Körpers schaltet auf Energiesparen um.
2. Der Energieumsatz wird verdoppelt, sobald der Körper einen Überfluss bei der Energiezufuhr empfindet. Das Energiemanagementsystem des Körpers schaltet auf „Energie-verprassen/verschwenden“ um. Der Körper feiert den Überfluss.

Es ist deshalb leicht nachvollziehbar, dass Beschwerden nicht zu vermeiden sind. Trotzdem ist es wichtig diesen nachzugehen, damit reale Mängel beseitigt werden. Für solche Aufgaben ist ein Monitoring der Raumbedingungen und der Anlagentechnik sehr wertvoll.

#### 4.4.1 Behaglichkeit im Winter

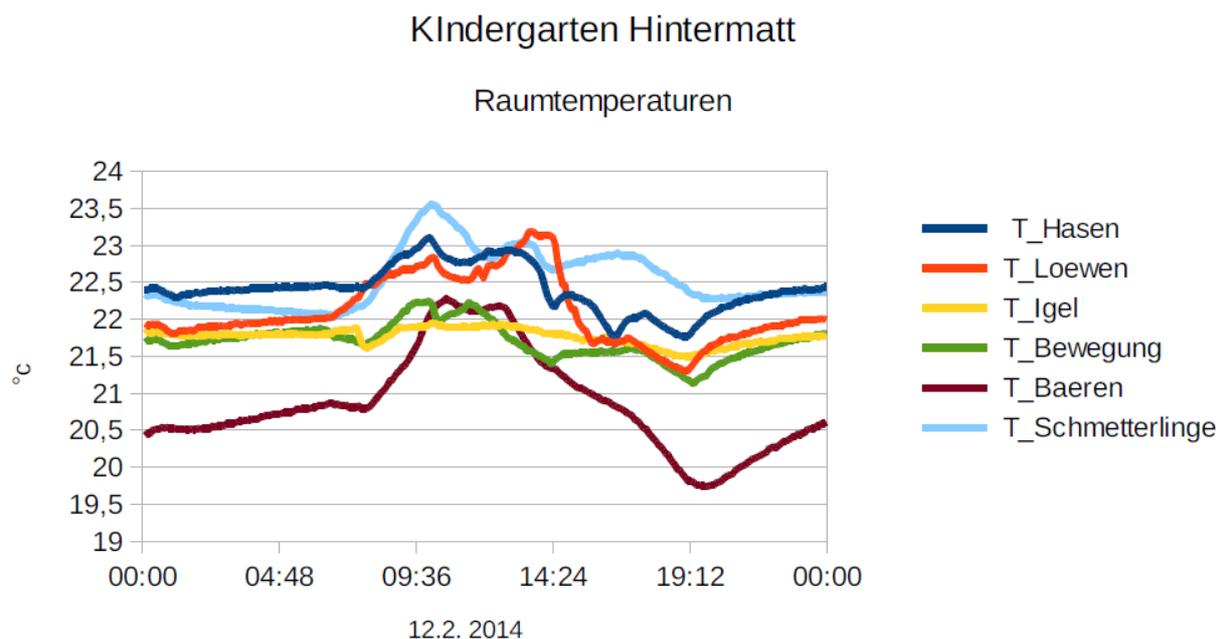
Die folgende Grafik zeigt einen Tagesverlauf im Winter. Deutlich ist der Temperaturabfall am Morgen durch die Fensterlüftung erkennbar.



Grafik 4.4.1.1 Temperatur Gruppenräume mit Lüftung am Morgen ab ca. 6 Uhr 30.

Obwohl es eine Lüftungsanlage im Gebäude gibt und diese mit minimal 30% immer im Betrieb ist, wird regelmässig am Morgen gelüftet. In einem Raum wurde vergessen das Fenster zu schliessen, was prompt zu einer Beschwerde geführt hat. Die Erläuterung per Telefon hat dazu geführt, dass am nächsten Morgen allgemein nicht mehr so gelüftet wurde (siehe Grafik 4.4.1.2).

Bei Gebäuden auf Passivhausniveau ist ein offenes Fenster ein grosser Wärmeverlust, der mit der für Passivhäuser notwendigen geringen Heizleistung nicht ausgeglichen werden kann.



Grafik 4.4.1.2 Temperatur Gruppenräume mit deutlich reduzierter Lüftung am Morgen ab ca. 6 Uhr 30.

Die Lüftung am Morgen ist im Vergleich zum Vortag deutlich reduziert, auffällig ist jedoch der Temperaturverlauf im Raum Bären. Der Temperaturabfall ab ca. 13 Uhr bis ca. 19 Uhr ist deutlich, der Grund dafür ist nicht bekannt.

#### 4.4.2 Behaglichkeit am Tropentag im Sommer

Das Thema Behaglichkeit oder besser die empfundene Behaglichkeit ist eine unendliche Geschichte. Die folgende Definition hilft für die Einordnung der Behaglichkeit etwas weiter, da häufig Beschwerden zum Raumklima an solchen Tagen kommen.

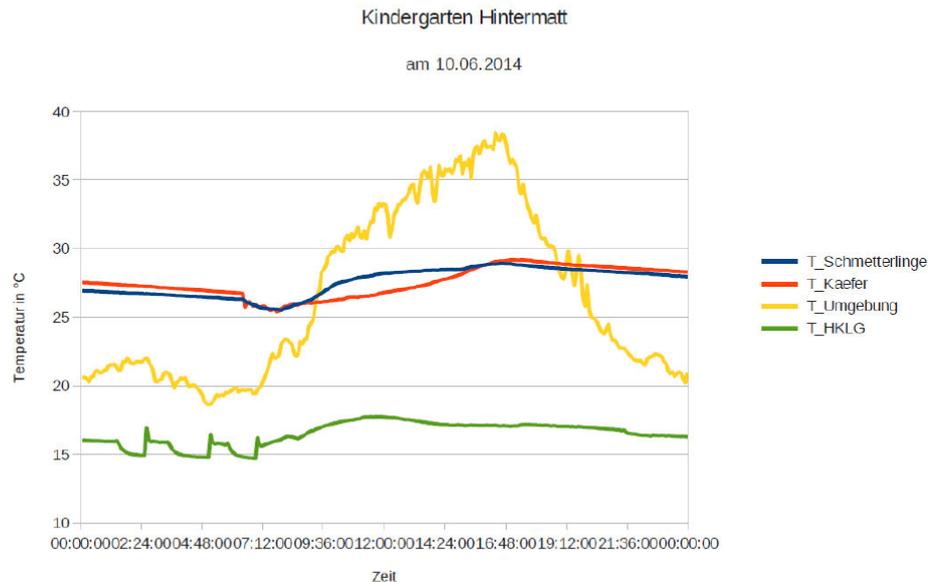
#### Was ist ein Sommertag?

Ein **Sommertag** ist die meteorologisch-klimatologische Bezeichnung für einen Tag, an dem die **Tageshöchsttemperatur** 25 °C erreicht oder überschreitet. Tage, an denen die Temperatur sogar über 30° steigt, werden als **Heißer Tag** (Hitzetag, Tropentag) geführt. Die Menge der heißen Tage ist eine Untermenge der Sommertage. Gemessen wird in einer Standard-Wetterhütte in zwei Metern Höhe. Sinkt die Tagestiefsttemperatur nicht unter 20°, spricht man zusätzlich von **Tropennacht**.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sommertag>

Die folgende Grafik zeigt einen Tropentag für den Kindergarten Hintermatt, da die Tageshöchsttemperatur mit ca. 37°C die 30°C für einen Hitzetag/Tropentag klar überschreitet.

## Temperaturverlauf in den Gruppenräumen Schmetterling Süd-Ostfassade und Käfer Süd-Westfassade



T\_HKLG ist die Vorlauftemperatur für die Kühlung bzw. Heizung mit den Gebläsekonvektoren

### Grafik 4.4.2.1 Temperaturverlauf in den kritischen Räumen

Der Temperaturverlauf in den Gruppenräumen zeigt eindeutig, wie ab ca. 26°C Raumtemperatur die Kühlung eingreift und die maximale Temperatur in den Räumen auf ca. 28 °C hält, obwohl die Umgebungstemperatur auf ca. 37°C an diesem Tag ansteigt. Deutlich ist auch der zeitliche Versatz der Temperaturverläufe in den Gruppenräumen zu sehen. Der Gruppenraum Schmetterlinge (blaue Kurve) hat Fenster Richtung Osten und Süden, der Gruppenraum Käfer hat Fenster in Richtung Süden und Westen. Hier ist deshalb der Temperaturanstieg etwas später als in dem Gruppenraum für die Schmetterlinge mit der Morgensonne.

## 4.5 Wand mit Polykarbonatfassade

Das folgende Bild zeigt das Gebäude mit der Polykarbonatfassade. Die Position für die Messung des Temperaturprofils in der Wand ist mit einem roten Pfeil markiert. Das Temperaturprofil wird parallel zu den Gebäudedaten erfasst und dokumentiert, so dass detaillierte Analysen durchgeführt werden können.

### Temperaturverlauf in der Westwand Obergeschoss

Ansicht der Westfassade mit Messposition,

Messung Wandprofil

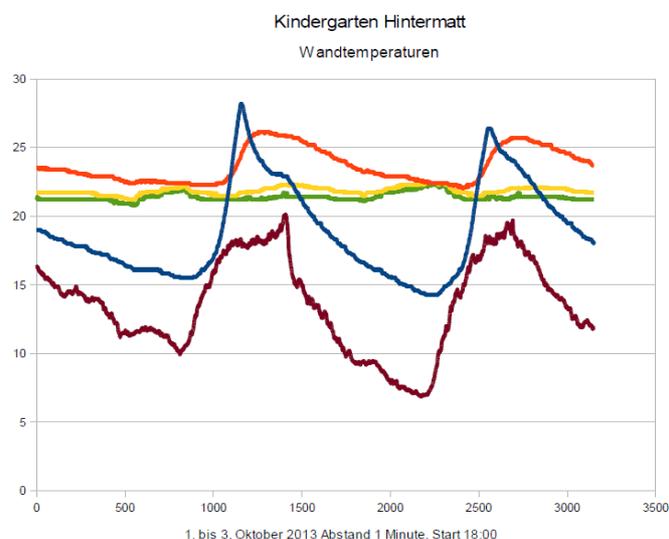


DELZER  
KYBERNETIK

Bild 4.5.1 Blick von Nord-West mit der markierten Position für den Wandsensor

### Temperaturverlauf in der Westwand Obergeschoss

Die Nachmittagssonne erwärmt die Westfassade



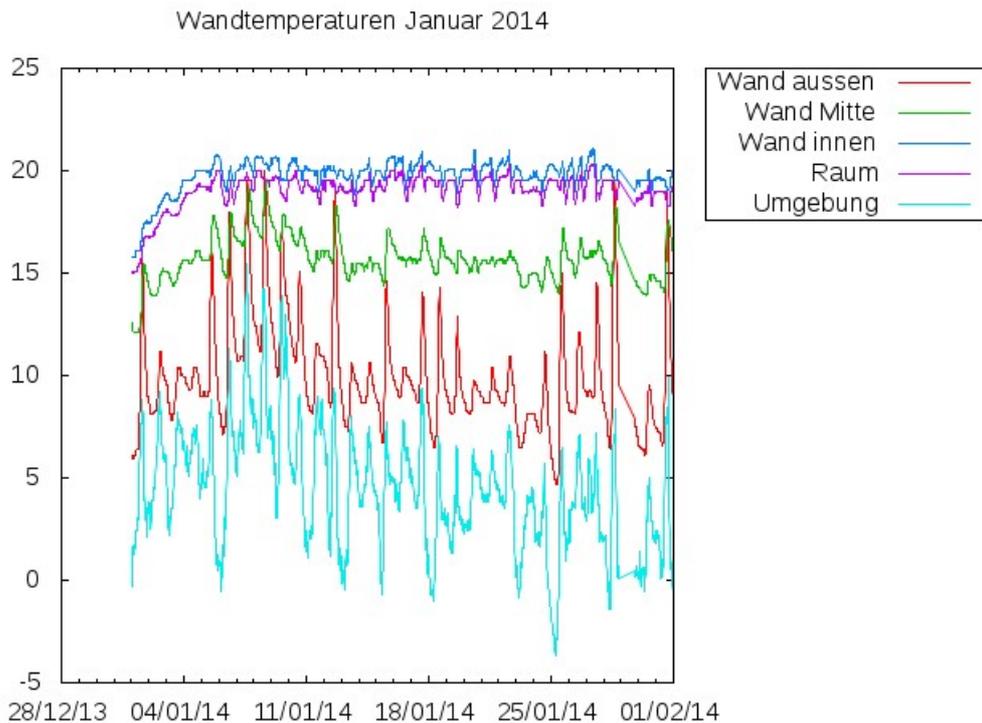
#### Legende

- S1 = Temperatur Wand Aussen
- S2 = Temperatur in der Wandmitte
- S3 = Temperatur Wand Innen
- S4 = Raumtemperatur
- TU = Umgebungstemperatur

Die Wärmewelle von aussen (blau) in die Mitte (rot) und auf die Innenseite (gelb) ist gut erkennbar.

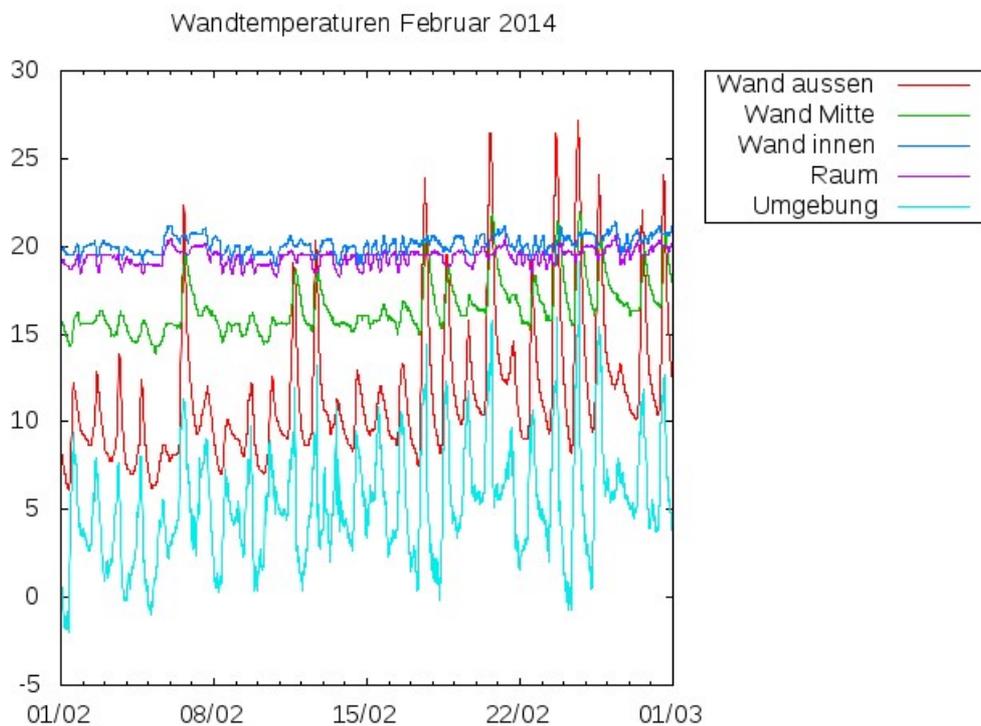
DELZER  
KYBERNETIK

Grafik 4.5.1 Typische Situation im Herbst/Oktober 2013

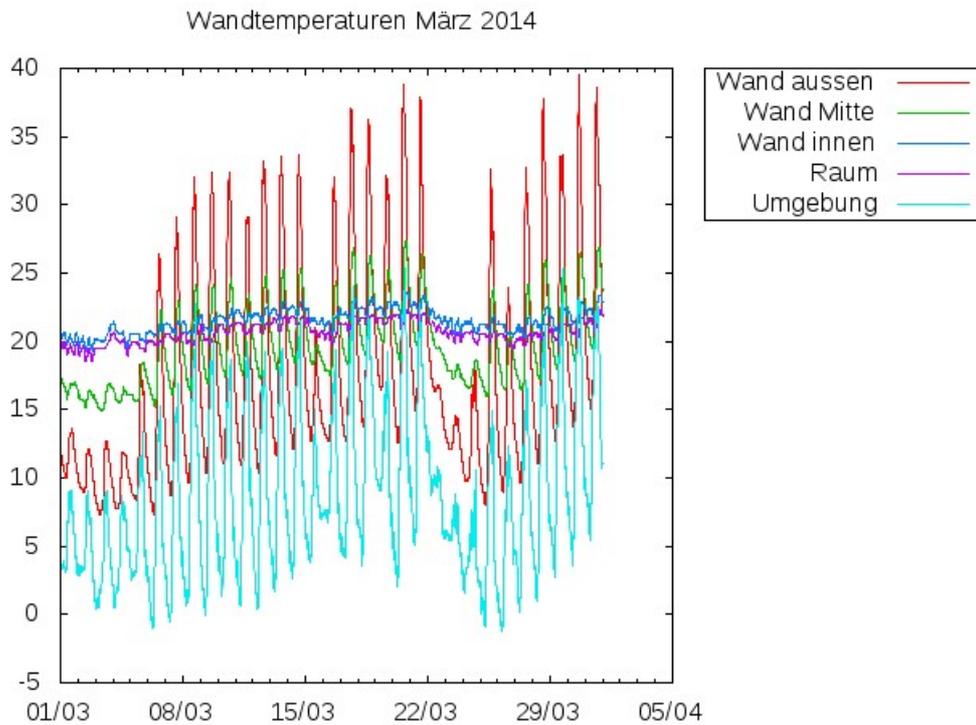


Grafik 4.5.2 Temperaturverläufe in der Wand im Januar 2014

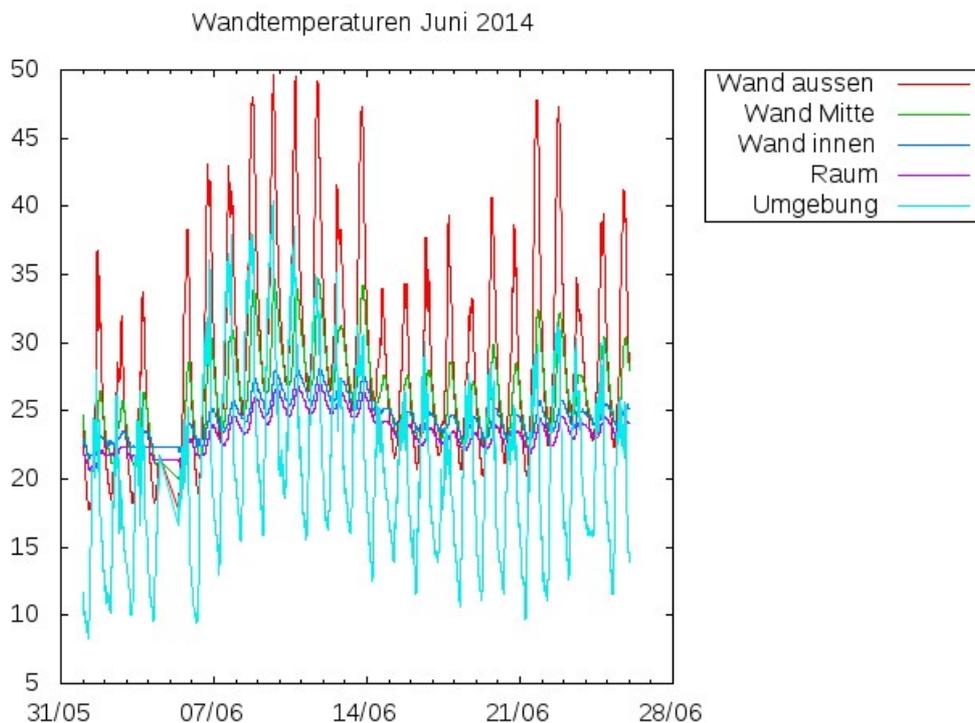
Im Kindergarten wurde in den Weihnachtsferien die Temperatur auf 15°C abgesenkt. Deutlich ist erkennbar, wie die Regelung über mehrere Tage das Gebäude auf Betriebstemperatur bringt.



Grafik 4.5.3 Temperaturverläufe in der Wand im Februar 2014



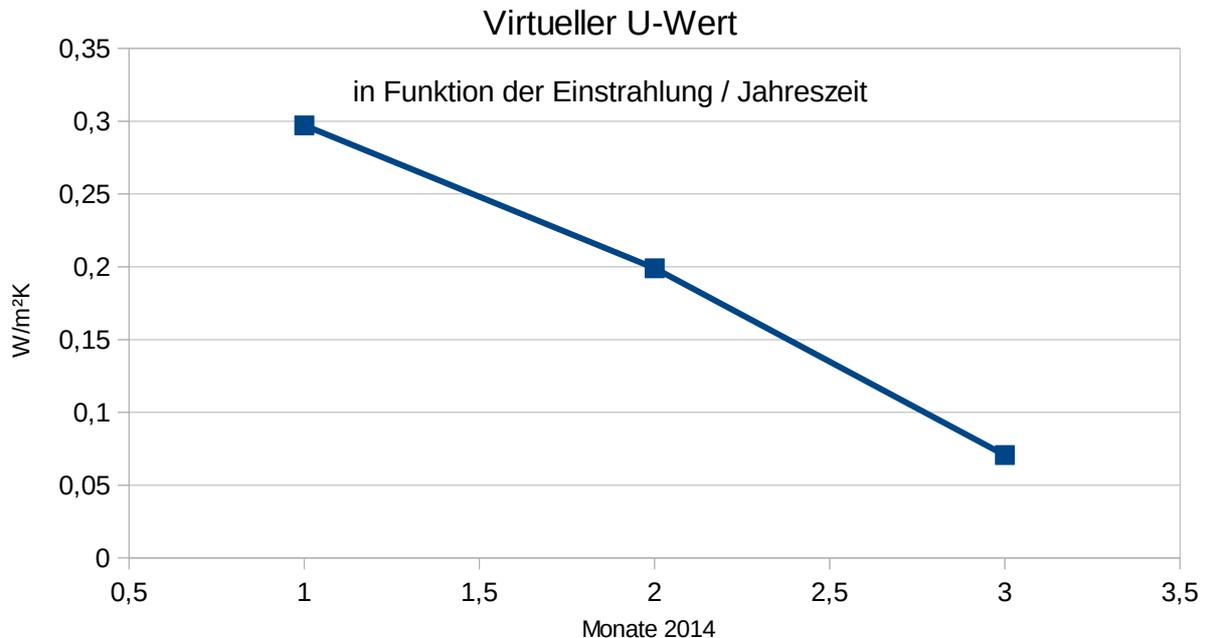
Grafik 4.5.4 Temperaturverläufe in der Wand im März 2014



Grafik 4.5.5 Temperaturverläufe in der Wand im Juni 2014

Auf den Messkurven kann über die Temperaturverläufe ein virtueller U-Wert abgeschätzt werden, der erforderlich ist, um die gleichen Temperaturverläufe im Monatsmittel zu erreichen. In der folgenden Grafik

sind die berechneten Werte dargestellt, die notwendig wären, um den ermittelten Mittelwert für den jeweiligen Monat zu erzeugen. Wir haben diesen U-Wert als virtuellen U-Wert bezeichnet. Da dieser von der Sonneneinstrahlung und Sonnenstand stark abhängig ist, verändert sich dieser über die Jahreszeit. Die folgende Grafik zeigt die wichtigen Monate von Januar bis März 2014.



Grafik 4.5.6 Virtueller U-Wert PK für die Monate Januar bis März 2014

Der U-Wert für die Holzständerwand, ohne TWD, liegt bei  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Das ist ein sehr guter Wert, aber mit der Reihenschaltung mit den virtuellen U-Werten wird nochmals eine deutliche Verbesserung erreicht.

Die Verbesserung der Aussenhülle mit der TWD durch die Einstrahlung ist deutlich. Die Polykarbonatplatte hat einen U-Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Schon im Januar mit der geringen Einstrahlung wird ein virtueller Wert von  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  für die Polykarbonatfassade mit Luftraum dahinter erreicht. Das ist eine Verbesserung von ca. 70%. Im Februar ist es schon eine Verbesserung des U-Wertes um ca. 80% und im März eine Verbesserung von mehr als 90%. Der virtuelle Gesamt-U-Wert ist im März für die Gesamtwand schon besser als  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Das ist ca. 1/3 des U-Wertes der Holzständerwand mit 24 cm Isoflocfüllung.

Da die transparente Wärmedämmung gleichzeitig als Luftkollektor für die Zuluft in den einzelnen Räumen genutzt wird, ist der Energieeinspareffekt noch grösser, als die Abschätzung des virtuellen U-Wertes erwarten lässt.

Mit der dynamischen Simulation sind diese Effekte wie Luftkollektor, bessere Isolierung real in der Wirkung auf die Behaglichkeit und den Energiebedarf abgebildet.

## 5 Öffentlichkeitsarbeit

### 5.1 Veranstaltungen der Stadt Schopfheim

Führung, Vortrag S. Delzer, und Diskussion

Einladung Landkreis mit Landrätin, Gemeinden, etc.

weitere Informationen siehe Anlage der Stadt Schopfheim

### 5.2 Artikel Regionale Presse

Oberbadisches Volksblatt und Markgräfler Tageblatt

### 5.3 Vorträge Delzer

#### 1. IHK Hochrhein Bodensee Schopfheim (Vortragsfolie) **Projektbeispiele für Integrale Planung**

1. Mobimo Tower Zürich, Architekten Läubli, Zimmermann HZDS
2. BusinessCenterAndreasark, Architekt Läubli
3. Sanierung Kindergarten Schopfheim Hintermatt, Architekt Kuri  
Das Projekt wird  
gefördert aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz  
der badenova AG&Co.KG



2. VDI (Verein Deutscher Ingenieure) in Freiburg
3. Steinbeiss-Stiftung Energieworkshop Stuttgart und Dresden

## **6 Erkenntnisse**

### **6.1 Haustechnik**

Im Rahmen des Projektes wurde die vorhandene Haustechnik bezüglich der Erweiterung für die Kühlung analysiert und mit minimalen Änderungen umgesetzt. Die minimalen und deshalb Kosten-Nutzen-optimalen Änderungen an der Hydraulik haben das Ziel in vollem Umfang erreicht: Hohe Effizienz bei minimalen Umbaukosten.

### **6.2 Energiemanagement**

Der grosse Einfluss des Energiemanagements auf die Anlagendimensionierung wurde im Vorfeld mit dem dynamischen Simulationsprogramm DK-INTEGRAL aufgezeigt und in der Umsetzung mit dem Monitoring bestätigt.

### **6.3 Schlussfolgerung für die Energiewende**

Die bei dem Projekt gewonnenen Erfahrungen lassen folgende Aussagen zu:

1. Die ausführenden Firmen sind hoch ausgelastet. Eine Steigerung der Umsetzungsgeschwindigkeit ist unter dem Aspekt des Mangels an geeigneten Mitarbeitern kaum vorstellbar.
2. Die neuen Techniken wie Wärmepumpen mit Erdsonden etc. sind so wenig verstanden, dass die Umsetzung hohe Kosten erzeugt und falls dann doch so ein Konzept umgesetzt wird, wird nur ein Teil der Einsparung generiert. Hier gibt es grossen Handlungsbedarf.
3. Mit der Erkenntnis, dass wir zu wenige Planer und Ausführende haben, sollten die Abläufe vereinfacht werden. Die sehr komplexen Vorgaben und Nachweise als Pflicht binden so viel Planungskapazität, dass für die individuelle und dem Projekt angepasste Planung zu wenig Zeit bleibt.  
Das hat zur Konsequenz, dass höhere Kosten bei geringerer Effizienz generiert werden.

### **6.4 Zusammenfassung**

Die bei dem Förderprojekt gewonnenen Erfahrungen lassen folgende Aussagen zu:

1. Energiefassade (Planung und Betreuung). Die Erfahrungen haben ein weiteres Projekt ausgelöst, das zu Standardkosten entwickelt werden konnte.

2. Energiemanager (Planung und Umsetzung als Basis für eine Standardlösung). Die Machbarkeit und die Funktionsvorteile sind nachgewiesen. Die Übertragbarkeit auf weitere Projekte ist gut realisierbar.
3. Planungstool (Anpassungen an das Konzept zur einfachen Optimierung für Dritte).  
DK-INTEGRAL ist für diese Aufgaben einsetzbar. In Version 6.3 ist die Funktionalität in der Eingabe vereinfacht. Mit der neuen Version 7.1 werden auch Nahwärmenetze für mehrere Gebäude mit Geothermie und Solarsystemen integral dynamisch simuliert.
4. Nachweis der Machbarkeit und einfache Übertragbarkeit auf Sanierungsprojekte.  
Der Nachweis war so überzeugend, dass schon das nächste Projekt mit vergleichbarem Konzept und Technik im Bau ist.
5. Öffentlichkeitsarbeit  
Veröffentlichung der Ergebnisse als Multiplikator zur Einsparung bei den Investitions- und Betriebskosten für Sanierungsprojekte, die in den nächsten Jahren dringend durchgeführt werden müssen.  
Die Öffentlichkeitsarbeit wird bei Vorträgen und mit Artikeln weiter erfolgen.

Auch im Rückblick ist das Projekt mit diesem hohen Innovationsanteil sehr erfolgreich verlaufen. Die gewonnenen Erfahrungen bei diesem Projekt sind spannend. Wir führen seit 1984 Energieberatungen durch und sind es deshalb gewohnt, sehr unterschiedliche Positionen kennen zu lernen. Bei diesem Projekt war der Erkenntnisgewinn erstaunlich hoch, dafür sind wir dankbar.

Es wurden viele Punkte, wie zum Beispiel das Empfinden des Raumklimas, in einer so eindrucksvollen Weise bestätigt, die uns bisher nur in der Theorie bekannt waren.

Wie wir Raumklima wahrnehmen und welches Raumklima wir fordern, da liegt wahrscheinlich auch der Schlüssel für eine erfolgreiche Energiewende. Es geht um die Frage: Was kann das Gebäude liefern und was kann ich als Nutzer tun, damit mein Behaglichkeitsgefühl auch über einen grösseren Behaglichkeits-Bereich immer noch im grünen Bereich ist.