

Bewilligungsempfänger  
ZV Schul- und Sportzentrum Lohr am Main  
Verbandsvorsitzender Herr Landrat Thomas Schiebel  
vertreten durch GF Herr Uli Heck  
Nägelseestraße 8  
97816 Lohr am Main

**Abschlussbericht über die  
Energetische Generalsanierung einer Schule aus 1970 im Kasseler Schulmodell mit  
angeschlossener 3-fach Turnhalle und Schulschwimmbad zum Passivhausstandard  
mit dem Ziel einer CO<sub>2</sub>-freien Energieversorgung**

**AZ: 28279/02**



Verfasser:  
Herr Werner Haase, Dipl.-Ing. (FH) Architekt



Dezember 2016



**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>28279/02</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>450.000 €</b>
----	-----------------	---------	-----------	-------------	------------------

**Antragstitel**      **Energetische Generalsanierung einer Schule aus 1970 im Kasseler Schulmodell mit angeschlossener 3-fach Turnhalle und Schulschwimmbad zum Passivhausstandard mit dem Ziel einer CO<sub>2</sub>-freien Energieversorgung.**

**Stichworte**

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>36 Monate</b>	<b>19.09.2011</b>	<b>19.09.2014 verlängert bis 30.06.2016</b>	

Zwischenberichte

<b>Bewilligungsempfänger</b>	ZV Schul- und Sportzentrum Lohr a. Main	Tel. 09352-50042-0
	Verbandsvorsitzender Herr Landrat T. Schiebel	Fax 09353-50042-10
	vertreten durch GF Herr Uli Heck Nägelseestr. 8 97816 Lohr am Main Email: <a href="mailto:verwaltung@zv-lohr.de">verwaltung@zv-lohr.de</a>	Projektleitung Herr Uli Heck
		Bearbeiter

**Kooperationspartner**      Architekturbüro Werner Haase  
Julius-Echter-Str. 59  
97753 Karlstadt  
Tel.: 09353-9828-0  
Fax: 09353-6375  
Email: [info@arch-haase-karlstadt.de](mailto:info@arch-haase-karlstadt.de)

***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Das im „Kasseler Schulmodell“ 1970-78 in Lohr a. Main errichtete Schulzentrum mit rund 25.000 m<sup>2</sup> NF setzt sich aus einer Mittelschule mit derzeit 330 Schülern, einem Gymnasium mit derzeit 750 Schülern, einer Dreifach-Turnhalle und einem überwiegend für den Schulbetrieb genutzten Hallenbad zusammen. Die vielfältigen Baumängel und der sehr hohe Energieverbrauch erfordern eine Generalsanierung. Das Schul- und Sportzentrum verbraucht z. Z. jährlich ca. 5.000.000 kWh Gas und mehr als 1.000.000 kWh Strom. Das entspricht etwa der Wärme- und Strommenge von ca. 300 Einfamilienhäuser, Bj. 1985 mit ca. 1.200 Bewohnern.

Damit eine zukunftsfähige und nachhaltige Unterhaltung der Schule möglich ist, wird im Rahmen des vorliegenden Projektes ein Gesamtkonzept mit dem Ziel der CO<sub>2</sub>-Neutralität und der Annäherung an den Passivhausstandard entwickelt. Aufgrund der Größe und Vielschichtigkeit der Anlage bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, Synergieeffekte zwischen der Nutzung der Schule, der Turnhalle und dem Schwimmbad im Bereich Energieeinsparung zu erzielen.

Das integrale Planungskonzept soll durch modellhafte Versuchsanlagen, die den Lehrern und Schülern ermöglichen, die Zusammenhänge von Energieverbrauch, Einbindung von Umweltenergie sowie effizienzsteigernde Maßnahmen in den Unterricht zu integrieren, ergänzt werden. In die integrale Planung wird die Lehrerschaft mit eingebunden.

Es ist gem. der DIN 18599 - Berechnung vorgesehen, den Endenergiebedarf um 90% zu verringern. Im Bereich des Primärenergieaufwandes bzw. der CO<sub>2</sub>-Emission sind nach BKL - Energieplaner 80% bzw. 79% Einsparung errechnet. Hierbei sind jedoch die Solareinträge, Pufferspeichereffekte und ein Energiemanagement nicht ausreichend abbildbar. Es werden hier höhere Einsparungen erwartet. Diese sollen unter Verwendung regenerativer Energien den CO<sub>2</sub>-Wert gegen Null reduzieren.

Es besteht eine Vorkonzeptionierung, die unter dem AZ: 28279 Referat 25 der DBU - eine integrale Planungsphase zur Weiterentwicklung des Schul- und Sportzentrums Lohr a. Main zum CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäude gefördert wurde.

Neben der hohen Energieeinsparung werden Spitzenlasten im Versorgungsnetz verringert. Zurzeit gibt es Stromlastspitzen von ca. 380 kW. Diese verringern sich auf ca. 140 kW. Im Bereich Gas beträgt die Spitzenlast derzeit 7.000 kW bei einer möglichen Kesselleistung von 9.000 kW. Nach der Sanierung wird sich die Spitzenlast Gas auf ca. 350 kW reduzieren. Im Jahr 2008 wurden ca. 500.000 € für Gas, Strom und Wasserverbrauch bezahlt. Im Jahr 2011 630.000 €!

Diese Verbrauchskosten unterliegen in voller Höhe den Preissteigerungen. Im vorliegenden Projekt soll der Anteil der Energiedeckung aus Umweltenergie bei zirka 60% liegen. Nachdem jedoch bereits der Endverbrauch um ca. 80% reduziert wird, bedeutet dies, dass lediglich 8% der Energiekosten gegenüber dem Verbrauch im unsanierten Bereich Preissteigerungen unterliegen werden.

Dadurch wird der Kostenanstieg gegenüber einer 100% Versorgung mit Netzenergie bedeutend geringer.

Die Einbindung von Umweltenergie erfolgt durch Absorber- und Kollektoranlagen, die in Verbindung mit Warm-Pufferspeichern und Latentspeicher Wasser/Eis unter Ausnutzung des Phasenwechsels einen hohen Ausnutzungsgrad erhalten.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Mittels Simulations- und Berechnungsmodellen als Begleitung der Fachplanung soll eine Optimierung der Anlagenkonfiguration mit baubegleitender Qualitätsprüfung erfolgen. Hierbei wird sowohl die Bedarfsprognose optimiert als auch über stündliche dynamische Raumklimasimulationen der Nutzerkomfort gesichert. Eine stündlich dynamische Anlagensimulation bildet den Einsatz regenerativer Energiequellen zur Beheizung und Kühlung ab und optimiert das Zusammenspiel der eingesetzten Technologien (Solarthermie, Fotovoltaik, BHKW, Wärmepumpen, Gasspitzenkessel, Lüftungsanlage mit WRG, Abwasserwärmerückgewinnung). Hierbei soll jeweils das bestmögliche solare Angebot genutzt werden. Dadurch notwendige Lastverschiebungen werden mittels Pufferspeicher für Latentwärme, aber auch für Kurzzeitspeicherung, ausgeglichen.

Hierzu ist es notwendig, Techniken miteinander zu verknüpfen, die auf niedrige Vorlauftemperaturen und hohen solaren Nutzungsgrad ausgerichtet sind. Hierbei ist bei den Auslegungskriterien die CO<sub>2</sub>-Reduktion maßgebend. Durch den Einsatz von Absorbern, die in der kalten Jahreszeit bis zu einer Temperatur von ca. 5°C den Eisspeicher regenerieren, bei höheren Absorbertemperaturen die Wärmepumpe direkt mit Wärme versorgen können und bei Temperaturen über 35°C das Beckenwasser direkt erwärmen, ist ein fast ganzjähriger Nutzungsgrad gegeben. Durch Nutzung des Solarstromes zum Antrieb der WP wird das Netz tagsüber entlastet und die WP kann bei Stromüberschuss den Pufferspeicher laden.

Durch Einsatz des Eisspeichers wird der WP im Winter eine Energie- bzw. Wärmequelle erschlossen, die relativ hohe Entnahmeleistungen ermöglicht beim gleichzeitig unterschiedlichen Energieeintrag in den Speicher. Die im Eisspeicher entstehende Eismenge dient als Kältepuffer für den Sommerbetrieb und kann weitgehend ohne Umformung direkt genutzt werden.

Eingesetzt werden weiterhin Wärmetauscher, um aus dem Abwasser des Schul- und Sportzentrums Energie rückzugewinnen und Wärmerückgewinnung aus der Abluft zu generieren. Optimierte Schwimmbadtechnik sowie PV-Aufstellung in Ost/West-Ausrichtung optimieren das Konzept. Ziel ist es, die notwendigen Energiemengen für den Gebäudebetrieb weitgehend auf dem „eigenen Dach“ in Form von Thermie und Photovoltaik zu gewinnen und nicht auf externen Flächen, wie dies z. B. für Biomasse notwendig wäre.

Das Ziel ist eine hohe Ausnutzung sowie Synergienutzung der einzelnen Komponenten zu erreichen. Die einzelnen Komponenten stehen nicht in Konkurrenz zueinander, sondern ergänzen sich mit dem Ziel, möglichst viel „Umweltenergie“ einzubinden und möglichst wenig fossile Energie zu benötigen. Dies geschieht durch gezielte Niedertemperaturnutzung mit „Zwischenspeicherung“ von höheren Temperaturen.

Es wird eine Regelung eingesetzt, die die einzelnen Komponenten möglichst so steuert, dass der

höchste Nutzungsgrad an Umweltenergie erreicht wird. Diese Regelung wird in Zusammenarbeit mit Fraunhofer, ISE Freiburg entwickelt und soll eine „selbstlernende“ Funktion bekommen, um ein optimales Zusammenspiel der einzelnen Komponenten mit dem Ziel der CO2-Reduktion und hoher Netzverträglichkeit zu erreichen.

Für eine spätere Monitoring Phase werden bereits jetzt die entsprechenden Messfühler geplant und eingebaut.

Im Förderprogramm EnOB wurde mittlerweile eine Phase der Nachoptimierung und eines Langzeitmonitorings nach Inbetriebnahme der Gesamtanlage vereinbart.

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Es war geplant durch ein begleitendes Monitoring bereits während der Umsetzung der einzelnen Bauabschnitte Ausführungsoptimierungen zu erkennen und umzusetzen. Aufgrund umfangreicher Probleme im Bereich der MSR-Technik werden bis Dezember 2016 sehr lückenhafte Ergebnisse erfasst, die wiederum Rückschlüsse zu Planungsergänzungen zu spät liefern.

Stand Dezember 2016: ist die Sanierung der Sporthalle abgeschlossen. Im Bereich der Schule befindet sich der 5. BA (vorletzter) in Arbeit - die Gesamtfertigstellung Schule ist für Frühjahr 2018 vorgesehen. An der Sanierung des Hallenbades wird derzeit gearbeitet; Fertigstellung ist für ca. Mai 2017 vorgesehen.

Derzeit wird die Haustechnikzentrale installiert. Der Eisspeicher ist erstellt, gefüllt und betriebsbereit. Der Schichtspeicher steht und ist gedämmt. Zurzeit erfolgt die Wärmeversorgung der bereits sanierten Bereiche und des unsanierten Bereiches durch 2 Spitzenkessel Gas mit gesamt 350 kW Leistung und einer mobilen zusätzlichen Heizanlage mit Gas. 200 kWp PV sind installiert und liefern seit Anfang 2016 Strom.

Die sommerliche Kühlung ist noch nicht in Betrieb. Nach Aussage der TGA-Planung soll die Heizungszentrale Anfang 2017 die sanierten Bereiche beheizen.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Bisher findet das Objekt in der Presse einen hohen Beachtungsgrad. Bei verschiedenen Vorträgen wird das Sanierungskonzept für das Schul- und Sportzentrum Lohr vorgestellt. Mittlerweile wurde das Projekt in das Programm EnEff-Schule aufgenommen. Im Mai 2014 erhielt das Objekt eine Auszeichnung mit Preisgeld im Programm: „Zukunft Schule 2030 - Lernen mit Energie“. Im Jahr 2016 konnte das Projekt bei der Woche der Umwelt im Schloss Bellevue in Berlin in Verbindung mit Postern und Flyern präsentiert werden und im Januar 2017 auf der Münchner Baumesse.

## ***Fazit***

Der innovative Konzeptansatz wird derzeit teilweise umgesetzt. Die eingesetzten Komponenten werden umfangreiche Erkenntnisse im Bereich Einbindung von niedertemperaturiger Umweltwärme in Verbindung mit WP-Technologie und PV-Strom zur Eigennutzung ergeben. Durch das umfangreiche begleitende Forschungsprogramm unter Einbindung von TU Dresden, Fraunhofer ISE Freiburg, EASD Dresden und EA Dresden, werden entsprechende Erkenntnisse und Verbesserungsmöglichkeiten für die Umsetzung in ähnlichen Aufgabengebieten erwartet. Ein nachfolgendes Monitoring nach Fertigstellung ist über das EnOB Programm sichergestellt.

Im Projekt sind Abstimmungsprobleme aufgetreten. Hier insbesondere im Bereich Umsetzung der Planung Heizung/Wärmeerzeugung/Wärmeübergabe in Bezug auf Simulation und Festlegungen. Dies war der langen Planungszeit und der baubegleitenden Planung geschuldet, bei der viele Einzelentscheidungen innerhalb einer langen Zeit getroffen werden mussten.

Die Berücksichtigung der Gesamtauswirkung in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Angemessenheit muss künftig verbessert werden.

## 1 Inhalt

<b>Projektkennblatt</b> .....	3
1. Verzeichnisse .....	8
1.1 Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen .....	8
1.2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen.....	9
2. Abschlussbericht .....	11
2.1 Zusammenfassung .....	11
2.2 Einleitung .....	13
2.3 Hauptteil .....	20
2.4 Fazit.....	59

# 1. Verzeichnisse

## 1.1 Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 1: Luftbild - Beginn des 1. BA - Quelle: AB Haase .....	10
Abbildung 2: Luftbild - Fertigstellung von BA 1-3 - Quelle: AB Haase.....	12
Abbildung 3: Draufsicht - Quelle: AB Haase .....	13
Abbildung 4: Bestand - Corten-Fassade u. verbrauchte Fenster - Quelle: AB Haase .....	14
Abbildung 5: verbrauchte Corten-Fassade - Quelle: AB Haase .....	14
Abbildung 6: Dachlandschaft - Quelle: AB Haase .....	15
Abb 7: Außenansicht Sporthalle, fensterlos - Quelle: AB Haase .....	15
Abbildung 8: Flachdach Sporthalle mit Lichtpyramiden - Quelle: AB Haase .....	15
Abbildung 9: Zu wenig Licht durch die Oberlichter - Quelle: AB Haase .....	16
Abbildung 10: Dauernder Kunstlichteinsatz notwendig - Quelle: AB Haase.....	16
Abbildung 11: Außenansicht Schwimmhalle - Quelle: AB Haase .....	16
Abbildung 12: "Blinde" Glasflächen - Quelle: AB Haase .....	16
Abbildung 13: Aufsummierte Gesamtkosten - Bestand von 1978-2009 .....	18
Abbildung 14: Aufsummierte Gesamtkosten - Geplant 2016-2036.....	18
Abbildung 15: Einfluss des Außenklimas (Quelle: IfB Sorge).....	20
Abbildung 16: Heizwärmebedarf im Planungsverlauf „Schul- und Sportzentrum, Quelle IfB Sorge .....	22
Abbildung 17: Variantenuntersuchung - Die Abbildung zeigt die sich ändernden Parameter im Variantenvergleich u. die detaillierten Ergebnisse, Quelle: IfB Sorge .....	25
Abbildung 18: Lastlinien - Wärme "Schul-u. Sportzentrum.....	26
Abbildung 19: Jahresverlauf Heizleistung Schul- u. Sportzentrum, Quelle: IfB Sorge .....	27
Abbildung 20: Prozentualer Heizwärmeverbrauch Schul- u. Sportzentrum, Quelle: IfB Sorge ....	28
Abbildung 21: Heizenergiebedarf Schul- u. Sportzentrum von 20:00-08:00, Quelle: IfB Sorge ...	29
Abbildung 22: Heizleistung Schul- u. Sportzentrum von 20:00-08:00, Quelle: IfB Sorge .....	29
Abbildung 23: Lastlinie - Kälte Schul- u. Sportzentrum, Quelle: IfB Sorge .....	30
Abbildung 24: Kühlleistungspotenzial des Absorbers (grüne Kennlinie), Quelle: IfB Sorge .....	31
Abbildung 25: Übersicht Lageplan Bauabschnitte - Quelle: AB Haase .....	35
Abbildung 26: Lichtzeldach neu - Quelle: AB Haase.....	36
Abbildung 27: Dachlandschaft - Bestand und saniert - Quelle: AB Haase .....	37
Abbildung 28: Dacharbeiten mit Absturzsicherung - Quelle: AB Haase .....	38
Abbildung 29: Edelstahldach in der Erstellungsphase - Quelle: AB Haase .....	39
Abbildung 30: Fassade (Quelle: Thyssenkrupp).....	40
Abbildung 31: Fassade (Quelle: Thyssenkrupp).....	40
Abbildung 32: Gangwand - Quelle: AB Haase .....	41
Abbildung 33: Energiekreislauf - Konzept - Quelle: AB Haase.....	42
Abbildung 34: Fassadenschnitt Schulzentrum - Quelle: AB Haase.....	48
Abbildung 35: Fassadenschnitt Sporthalle - Quelle: AB Haase .....	49
Abbildung 36: Bodenplatte des Eisspeichers - Quelle: AB Haase.....	51
Abbildung 37: Bauarbeiten der Wand des Eisspeichers - Quelle: AB Haase .....	52
Abbildung 38: "Innenleben" des Eisspeichers - Quelle: AB Haase .....	52
Abbildung 39: "Innenleben des Eisspeichers - Quelle: AB Haase.....	53
Abbildung 40: Rohrbündel-Absorber - Quelle: AB Haase .....	54
Abbildung 41: Fassadenansicht mit farbigen Elementen für Lüftungsgitter - Quelle: AB Haase..	55
Abbildung 42: Einzellüftungsgerät mit Zu- und Abluftkanal - Quelle: AB Haase.....	55
Abbildung 43: PV-Module Ost / West Ausrichtung - Quelle: AB Haase.....	56
Abbildung 44: Neue Mensa - Quelle: AB Haase .....	61
Abbildung 45: Sporthalle saniert - Quelle: AB Haase .....	62
Abbildung 46: Sporthalle saniert mit Tribüne - Quelle: AB Haase .....	62

Abbildung 47: Sporthallen-Foyer saniert - Quelle: AB Haase .....	63
Abbildung 48: Sporthalle Fassade - Quelle: AB Haase .....	63
Abbildung 49: Fassade saniert - Quelle: Thyssenkrupp.....	64
Abbildung 50: Fassade saniert - Quelle: Thyssenkrupp.....	64
Abbildung 51: Fassade saniert - Quelle: Thyssenkrupp.....	65

## 1.2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

Begriffsdefinitionen gemäß Energieausweis nach EnEV:

### Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die sogenannte „Vorkette“ der jeweils eingesetzten Energieträger. Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz und eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung.

### Endenergiebedarf

Die Endenergie gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung und Kühlung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist - bezogen auf die beheizte Fläche/das beheizte Volumen - ein Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik.

### Nutzenergie

Die Nutzenergie ist die Energie, die tatsächlich genutzt werden kann, z.B. in Form von Wärme, die von den Heizflächen abgegeben wird. Weil bei der Verbrennung im Heizkessel und bei der Wärmeverteilung durch Heizungsrohre im Haus Verluste entstehen, ist die Nutzenergie kleiner als die Endenergie.

### Heizwärmebedarf

Der Jahresheizwärmebedarf eines Gebäudes errechnet sich aus den Transmissionswärmeverlusten durch z.B. Wände, Fenster, Böden und Dächer und dem Lüftungswärmeverlust, vermindert um die solaren Gewinne und die internen Wärmegewinne. Bezieht man diesen Jahresheizwärmebedarf auf die beheizbare Fläche, so erhält man die Energiekennzahl „Heizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> und Jahr“.

### Abkürzungen:

BayBO	Bayrische Bauordnung
BGF	Brutto-Grundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BRI	Brutto-Rauminhalt
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
dena	Deutsche Energie-Agentur
EnEV	Energieeinsparverordnung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kWh	Kilowattstunde
NGF	Netto-Grundfläche
RW	Rettungsweg
RWA	Rauch- und Wärmeabzugsanlage
WDVS	Wärmedämmverbundsystem



Abbildung 1: Luftbild - Beginn des 1. BA - Quelle: AB Haase

## **2. Abschlussbericht**

### **2.1 Zusammenfassung**

Die Projektstudie für die nachhaltigen Erneuerung und Bewirtschaftung des bestehenden Nägelsee Schul- und Sportzentrum Lohr a. M. mit dem AZ: 28279 wurde im Jahr 2009 begonnen und mit einem Abschlussbericht vom Mai 2011 dokumentiert. Ende 2011 erfolgten nach einem VOF-Verfahren die Planungsaufträge an die beteiligten Büros.

Die Ziele und Inhalte dieser Projektstudie werden u. a. durch das derzeitige NAPE-Programm der Bundesregierung voll inhaltlich bestätigt und waren im Prinzip ca. 5 Jahre vor der Vorstellung des NAPE-Programmes im vorliegenden Projekt enthalten.

Die integrale Planung des Schul- und Sportzentrums verfügte nicht über das Instrumentarium einer „energetischen Projektsteuerung“; d. h. die in der energetischen Konzeption dargestellten Inhalte wurden eher konservativ in die Planung umgesetzt und mit einer sehr aufwendigen Technik versehen. Dies betrifft den Umfang der MSR-Technik sowie der sehr hohen „Sicherheitszuschläge“ in den Heizungstechniken, wobei das Wesen und der Sinn des Passivhausgedankens durch zum Teil konservative Heizungstechniken z. T. überlagert wurden.

Insgesamt wird ein Großteil der angedachten Komponenten wie z. B. Wasser-Eisspeicher, Schichtspeicher, Rohrbündel-Absorber, WP-Technik, Heiz- und Kühldecken sowie dezentrale und zentrale Lüftungssysteme verwendet. Ergänzt werden die regenerativen Systeme durch eine angemessene BHKW-Anlage und zwei gasbetriebenen Spitzenlastkesseln mit insgesamt 350 kW Leistung (Bestandsanlage waren 3 Kessel mit 9000 kW).

Der Idealbetrieb der Gesamtanlage in Niedertemperatur wird dadurch erschwert, dass eine bestehende Förderschule, die nicht Gegenstand der energetischen Sanierung ist, durch die Heizzentrale mitversorgt werden muss. Ebenso ein kurz vor Sanierungsbeginn zusätzlich errichtetes Hallenbad mit Lehrschwimmbecken, welches ebenso mitversorgt werden muss.

Im Betrieb der ersten Bauabschnitte sowie der Sporthalle hat sich bereits trotz Baustellenbeheizung und mobiler Heizzentrale bereits eine deutliche Einsparung der Energiekosten ergeben.

Die gesamte Sanierung wird im laufenden Schulbetrieb durchgeführt, ohne Auslagerung der Klassen in Container. Hierbei mussten auf den Schulbetrieb und in Bezug auf klare Trennung Baustelle zu Schulbetrieb große Rücksichten genommen werden.

Die bisherigen 4 BA der Schulsanierung wurden in Bezug auf ihre Umfänglichkeit in relativ kurzer Zeit realisiert, wobei die Bauzeitenpläne sehr „optimistisch waren“ und teilweise nicht eingehalten werden konnten.

Es sind bisher deutliche Verbesserungen im Schulbetrieb eingetreten.

Eine Anwendung der eingesetzten Komponenten in angepasster Form ist empfehlenswert; es sei hier erwähnt, dass der Hallenbadbereich umfangreich mit Absorber-, Abwasserwärmerückgewinnung-, Lüftungsanlage mit WRG und nachgeschalteter WP einen hohen Deckungsgrad regenerativer Energien erhält und sehr stark auf „Kreislaufwirtschaft“ aufbaut. Ergänzt wird dies durch den saisonalen Latentspeicher auf Wasser / Eisbasis in Verbindung mit WP, die wiederum einen Großteil des Stromes aus der eigenen PV-Anlage bezieht. D. h. der Bereich Schwimmbad ist eigentlich der innovativere Teil, da Passivhausschulen bereits in mehrfachen Variationen erprobt wurden.



Abbildung 2: Luftbild - Fertigstellung von BA 1-3 - Quelle: AB Haase

## 2.2 Einleitung

Das Schul- und Sportzentrum Lohr wurde in den 70-er Jahre als ein Pilotobjekt eines Schulzentrums entworfen, in dem Grundschule, Realschule und Gymnasium zusammengeführt werden sollte. Aus Kostengründen wurde der Bereich Realschule später weggelassen; die umfangreichen Sportanlagen, wie Hallenbad, 3-fach Sporthalle und großzügige Freisportanlagen und Spielfeldern, wurden jedoch im gleichen Zuge mit errichtet.

Das Schulgelände „Nägelsee“ deutet bereits im Namen darauf hin, dass der Untergrund als Schwemmland entsprechende Schwierigkeiten verursachte. Das Schulzentrum liegt teilweise im Überschwemmungsgebiet des Mains bei 100-jährigem Hochwasser und verfügt über aufwendige Gründungsmaßnahmen. Die Konstruktion ist Stahlbeton in Raster-Bauweise (Kasseler Schulmodell). Die Schule ist außerordentlich weitläufig und besaß innenliegende Räume, die ständig be- und entlüftet (ohne WRG) wurden. Der Energieverbrauch erreichte jährlich 5.000 MWh Gas und 1.05 MWh Strom. Zuletzt wurden in 2011 630.000 € Energie-Verbrauchskosten bezahlt.

Die Aluminiumschiebefenster, die Corten-Fassade sowie die Flachdächer waren ebenso wie die Haustechnik-Komponenten weitgehend verbraucht. Die statische Konstruktion des Stahlbetons jedoch für eine weitere langfristige Nutzung geeignet. Es wurde daher das Gebäude abschnittsweise auf Rohbau-Stand zurückgebaut und passivhausähnlich neu aufgebaut. Aufgrund der Untergrundverhältnisse hätte ein Ersatzneubau an derselben Stelle wiederum hohe Kosten für die Gründung und für die Auslagerung mit Containern verursacht, sodass im Prinzip nur eine Generalsanierung sinnvoll ist.



Abbildung 3: Draufsicht - Quelle: AB Haase



Abbildung 4: Bestand - Corten-Fassade u. verbrauchte Fenster - Quelle: AB Haase



Abbildung 5: verbrauchte Corten-Fassade - Quelle: AB Haase



Abbildung 6: Dachlandschaft - Quelle: AB Haase



Abb 7: Außenansicht Sporthalle, fensterlos - Quelle: AB Haase



Abbildung 8: Flachdach Sporthalle mit Lichtpyramiden - Quelle: AB Haase



Abbildung 9: Zu wenig Licht durch die Oberlichter - Quelle: AB Haase



Abbildung 10: Dauernder Kunstlichteinsatz notwendig - Quelle: AB Haase



Abbildung 11: Außenansicht Schwimmhalle - Quelle: AB Haase



Abbildung 12: "Blinde" Glasflächen - Quelle: AB Haase

Die Zielsetzung konnte durch die umfassende Vorkonzeptionierung dahingehend formuliert werden, dass im Zusammenspiel Energieversorgung Schule, Sporthalle und Hallenbad sich umfangreiche Synergieeffekte angeboten haben und das Gesamtprojekt so umfangreich ist, dass regenerative Energietechniken eingesetzt werden konnten, die sich bei einem Kleinobjekt nicht rechnen. Der Gedanke wurde dadurch bestärkt, dass der bisherige Energieverbrauch in etwa dem von 350 Einfamilienhäusern entspricht. Weiterhin konnte im Vorkonzept nachgewiesen werden, dass ein solches Zentrum mit hohem Verbrauch durch umfangreiche solare Nutzung von Thermie und PV sich über weite Teile des Jahres selbst versorgen kann und sowohl im Bereich Gasverbrauch, als auch im Stromverbrauch Netzbelastungen deutlich verringern kann.

Weiterhin war es notwendig die Funktionalität des weitläufigen Schulgebäudes den zukünftigen Bedürfnissen anzupassen. Zur Bauzeit hat der „Volksschulbereich“ etwa 2/3 der Fläche und der Bereich des Gymnasiums 1/3 eingenommen. Mittlerweile werden 2/3 durch das Gymnasium genutzt; die Mittelschule weniger als 1/3. Einige Räume werden derzeit von der angrenzenden Förderschule mitgenutzt. Mensa und Aula werden von allen drei Schuleinrichtungen nach Bedarf genutzt. In der Schule untergebracht sind ebenso die Räume des Zweckverbandes.

Für die Einhaltung der derzeitigen Brandschutzvorschriften sowie der Barrierefreiheit mussten umfangreiche Maßnahmen durchgeführt werden. So z. B. Verstärkung von Betondeckungen, Verkleidungen, zusätzliche Fluchttreppen, umfangreiche Rauch- und Brandmeldeanlagen. Der Einbau eines Personenaufzuges wurde an zentraler Stelle vorgenommen.

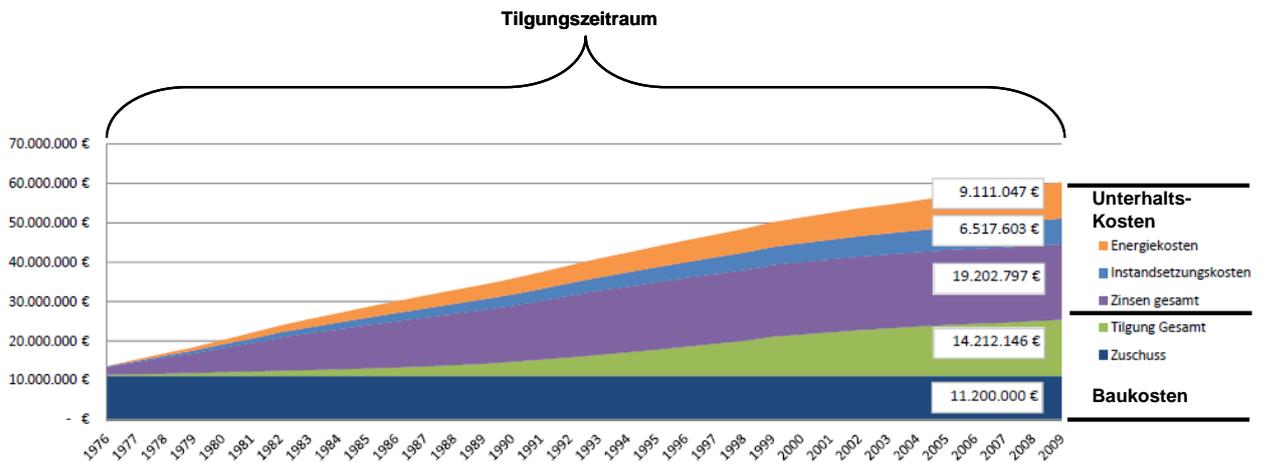
Ein weiterer Punkt waren die Vorschriften des Freistaates Bayern in Bezug auf Raumprogramm und Einhaltung derzeitiger Bauvorschriften und den Vorschriften der FAG-Förderung.

Ein wichtiges Ziel ist, die vor der Sanierung ca. 2.300 t/a CO<sub>2</sub>-Emissionen nach der Sanierung möglichst gegen Null zu reduzieren. Dies gelingt durch den umfänglichen Einsatz von Absorbern im Bereich der Thermie und ca. 400 kWp PV mit weitgehender Eigennutzung des Stromes. Es wurde bewusst die Verbrennung von Holz oder Pflanzenöl vermieden, sondern auf die hocheffiziente Verwendung von Eigenstrom in Verbindung mit WP und Pufferung als System aufgebaut. Die Steigerung der Eigenstromverwendung wird durch entsprechende Warmwasserspeicher und damit Lastverschiebungen erreicht.

Umfangreiche Simulationen sowohl im Vorfeld durch das Büro IfB Sorge, Nürnberg, als auch während der Planungsphase durch EASD Dresden in Verbindung mit der TU Dresden, sowie vorwiegend für die Anlagentechnik das Fraunhofer ISE Freiburg, unterstützen die Planungsarbeit des beauftragten Ingenieurbüros für TGA REA - Reinhart, Engert, Albert Beratende Ingenieure GmbH Würzburg für alle TGA-Leistungen. Weiterhin unterstützt das Fraunhofer ISE Freiburg den Bereich „selbstlernende Regelungstechnik“ der Heizungsanlage. Dem derzeitigen Stand der Arbeiten ist zu entnehmen, dass die im Vorkonzept angestrebten Ziele weitgehend erreicht werden. Für die Inbetriebnahme und den Anfangsbetrieb der Gesamtanlage ist eine begleitende Monitoringsphase mit entsprechender Nachoptimierung (gefördert durch EnOB) vorgesehen.

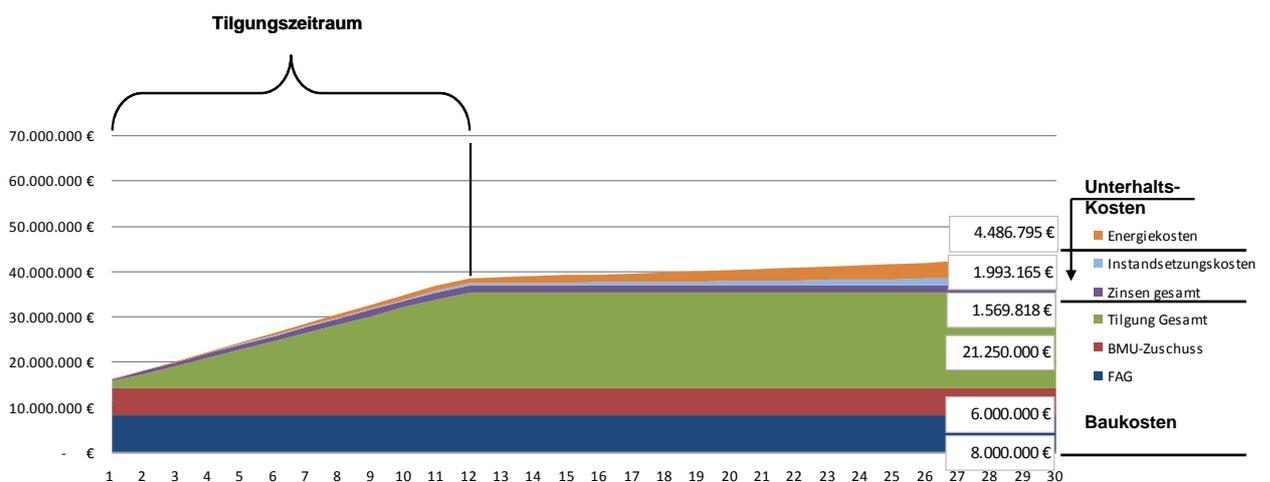
In der Vorkonzeptionsphase konnten die Rechnungsordner für die Betriebs- und Unterhaltskosten inkl. Reparaturen von der Bauzeit 1978 bis 2011 ausgewertet werden. Hierbei zeigte sich, dass die ursprünglichen Baukosten von ca. 24.4 Mio. € Nachfolgekosten für Kapitaldienst, Energiekosten und Reparaturen von der Einweihung bis 2011 ca. 38 Mio. € betragen. Bei dieser Untersuchung wurden die Reparaturschwerpunkte ermittelt. Dies waren als großer Posten Flachdachreparaturen, weiterhin Jalousiereparaturen, aber auch Wasserschäden durch Heizungsrohrdefekte. Zur Bauzeit herrschte eine Hochzinsphase; die Zinskosten bis zur letztendlichen Tilgung im Jahr 2014 der ca. 13 Mio. € Kreditsumme addierten sich auf ca. 20 Mio. €. Die Energiekosten auf ca. 10 Mio. € und Reparaturen auf mehr als 7 Mio. €.

Abbildung 13: Aufsummierte Gesamtkosten - Bestand von 1978-2009



Baukosten 1978: 24.40 Mio. Euro  
 Nachfolgekosten 30 Jahre: 35.95 Mio. Euro

Abbildung 14: Aufsummierte Gesamtkosten - Geplant 2016-2036



Baukosten: ca. 45 Mio. Euro  
 Nachfolgekosten 30 Jahre: ca. 8-13 Mio. Euro

Die Schulleitungen wurden in Planungsentscheidungen und Jour-fixe miteingebunden. Umfangreiche Workshops fanden nicht im großen Rahmen statt. In den gemeinsamen Jour-fix-Terminen wurden hauptsächlich schulische Belange in der Betriebs- und Bauabwicklung berücksichtigt und Wünsche der Lehrerschaft entgegen genommen. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten konnten einige Wunschvorstellungen nicht umgesetzt werden.

Aufgrund der derzeitigen niedrigen Zinsen sowie der Auswahl langlebiger Bauweisen, wie z. B. rollnahtgeschweißtes Edelstahl Dach (tabellarische Nutzungsdauer mehr als 60 Jahre), beschichtete Fassadenkonstruktion (rostfrei - Haltbarkeit mindestens doppelt so lange, wie die vorherige Corten-Fassade), Holz-Alu-Fenster (längere Haltbarkeit, als die bisherigen Schiebefenster sowie Recyclingfähigkeit der Komponenten), stabilere Jalousiekonstruktion mit hoffentlich geringerer Reparaturanfälligkeit werden niedrige Nachfolgekosten für Reparaturen erwartet. Im Bereich der Energieversorgung der Gebäude wird aufgrund der hohen Dämmung, dem sehr großen Anteil der Energierückgewinnung aus Lüftung und Abwasser und dem damit verbundenen geringen Anteil externer Energie ebenso ein sehr niedriger Anteil an den Nachfolgekosten erwartet. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass in den nächsten 30 Jahren für Zinsen, Energiekosten und Reparaturkosten ca. 10-13 Mio. € gegenüber den früheren 38 Mio. € erwartet werden können. Eine zusätzliche Kostenbelastung wird jedoch im Bereich Wartungskosten für Brandschutzabschlüsse, elektronische Einrichtungen wie z. B. Brandmeldeanlagen, MSR-Technik sowie elektronischen Schließsystemen erfolgen. Hierüber liegen keine ausreichenden Kostenprognosen vor. Es ist jedoch zu befürchten, dass diese nicht unerheblich sind. In späteren Objekten sollte daher darauf geachtet werden, dass diese Bereiche möglichst zurückhaltend eingesetzt werden.

Da bereits der Endenergieverbrauch um 80 % niedriger liegt als im Bestand und der restliche Energiebedarf größtenteils auf dem eigenen Dach über PV und Thermie „kostenlos“ geliefert wird, ist es richtig, die letzten 20 % u. U. „großzügig“ zu verbrauchen. Dies bedeutet, dass z. B. kleinere Heizdecken mit größerer Spreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf deutlich geringere Investitionskosten verursachen. Der minimal größere WP-Strombedarf wird bereits durch geringeren Umwälzpumpenstrombedarf reduziert. Falls dann noch zusätzlicher Strom benötigt wird, so ist hiervon wiederum ein Großteil aus der eigenen PV-Anlage gewonnen und damit kostengünstig und ökologisch unbedenklich. Dieses Beispiel soll zeigen, dass jeweils das Gesamtsystem betrachtet werden muss und nicht nur ein Einzelaspekt.

## 2.3 Hauptteil

### Erstellung einer Simulation - Ergebnisse Gebäude- und Anlagensimulation

Die Erstellung einer Simulation zur Ermittlung des Energieverbrauchs in Verbindung mit der geplanten Energietechnik war sehr hilfreich.

So war das Ergebnis der „konservativen“ Wärmebedarfsrechnung des TGA Büros vom 31.05.2011 für Schul- und Sportgebäude 2.410.430 kWh/a. eine 2. Bedarfsberechnung kam am 22.06.2016 zu dem Ergebnis von 1.577.644 kWh/a. Die internen Wärmelasten sind in diesen Summen nicht in Abzug gebracht. Der Kühlbedarf wurde nicht ermittelt.

Das Ergebnis der Simulation beträgt im Bestfall 875.000 kWh/a (ohne Veränderung von Hülle oder Bauteilen) und zeigt, dass in einem Niedrigenergiegebäude Schule, aber auch Hallenbad und Sporthalle eine Simulation ein unbedingtes Muss ist.

Weiterhin zeigt die Simulation, dass der Kühlbedarf in einer ganztags genutzten Schule aufgrund der Nutzungsart eine beachtliche Größe einnimmt. Es wurde bei einer Zukunftsszene für 2035 mit Klimaveränderung errechnet, dass dann zwar der Heizbedarf um ca. 13% sinkt, der Kühlbedarf jedoch um ca. 66% zunimmt.

<b>Einfluss des Außenklimas</b>						
	<b>P_Heizen</b>			<b>Q_Heizen</b>		
	Mittelwert	Max	Min	Mittelwert	Max	Min
6-2010_N	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
6-2010_S	106,5	107,1	105,6	109,0	112,1	104,8
6-2010_W	105,5	106,0	104,7	113,2	119,8	104,7
6-2035_N	109,0	109,9	108,1	87,6	93,9	81,6
6-2035_S	108,3	108,9	107,2	87,0	91,6	81,5
6-2035_W	98,2	98,5	97,9	93,9	96,9	91,4
	<b>P_Kühlen</b>			<b>Q_Kühlen</b>		
	Mittelwert	Max	Min	Mittelwert	Max	Min
6-2010_N	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
6-2010_S	111,7	112,6	109,6	112,7	114,3	110,1
6-2010_W	102,3	102,4	102,0	111,5	112,8	110,4
6-2035_N	102,6	103,1	102,4	131,4	133,6	130,2
6-2035_S	115,1	116,4	113,4	166,0	170,4	159,3
6-2035_W	103,1	104,8	101,1	126,6	128,5	125,3

Abbildung 15: Einfluss des Außenklimas (Quelle: IfB Sorge)

Dies zeigt, dass in zukünftigen Schulgebäuden der Heizbedarf eher an Wichtigkeit abnimmt, jedoch der Kühl- und Strombedarf zunimmt. Da der „Passivhaus-Gedanke“ hauptsächlich den Heizbedarf betrachtet ist das „Schul-Passivhaus“ durch eine aktive Kühlmöglichkeit zu ergänzen und weiter zu entwickeln.

Nachfolgend ein Auszug aus dem Abschlussbericht des IfB Sorge:

11220

- 78 -



## 8.5 Heizwärmebedarf

### 8.5.1 Optimierung des Heizwärmebedarfs im Zuge der Bearbeitung

Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse der Variantenuntersuchungen, welche bezüglich Heizwärmeverbrauchs für das Schul- und Sportzentrum durchgeführt wurden:

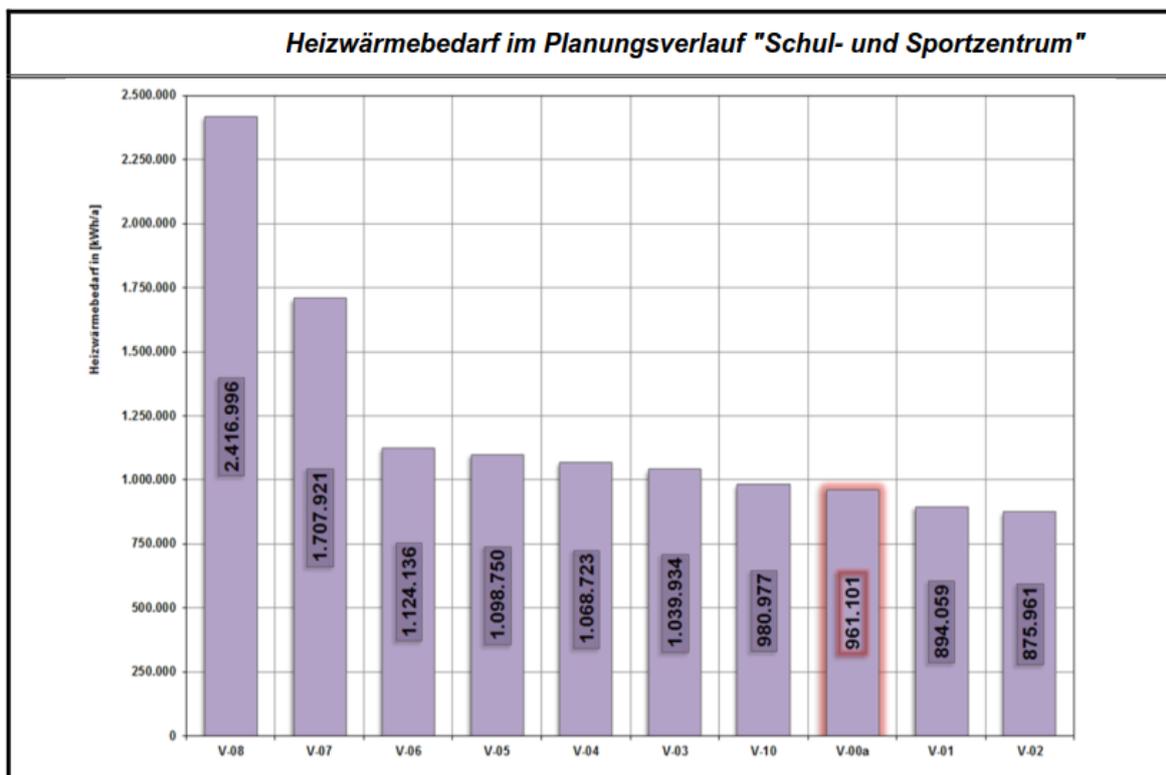


Abbildung 16: Heizwärmebedarf im Planungsverlauf „Schul- und Sportzentrum, Quelle IfB Sorge

## Auszug aus dem Abschlussbericht IfB Sorge

Variante 8 stellt den wärme gedämmten Zustand des Schul- und Sportzentrums dar, ohne den Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Ausgangsvariante als "konventionelle Sanierung" hat dabei einen Heizwärmebedarf von 2.416.996 kWh. Dies bedeutet zur unsanierten Variante mit ~ 6.000.000 kWh Heizwärmebedarf bereits eine Reduktion um etwa 60 %.

Durch den Einsatz von Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung im Schwimmzentrum (Variante 7) reduziert sich der Heizwärmebedarf zur unsanierten Variante um etwa 72 % auf nur mehr 1.707.921 kWh.

Der Einsatz von Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung bei den zentralen und dezentralen Lüftungsanlagen führt in Variante 6 zu einer weiteren Reduktion des Heizwärmebedarfs um etwa 81 % zur unsanierten Variante. Der verbleibende Heizwärmebedarf nach Minimierung der Transmissionswärmeverluste (Wärmedämmung) und Lüftungswärmeverluste (Lüftungsanlage mit effizienter Wärmerückgewinnung) liegt nur mehr bei 1.124.136 kWh bzw. 19 % im Vergleich zum unsanierten Zustand.

## Auszug aus dem Abschlussbericht IfB Sorge

11220

- 79 -



Die Versorgung der Förderschule durch eine dezentrale Wärmepumpe (mit Anschluss an das Niedertemperaturnetz des Schulzentrums) anstelle über ein eigenes Hochtemperaturnetz führt in Variante 5 zu einer weiteren Reduktion des Heizwärmebedarfs auf 1.098.750 kWh (bei Erhöhung Strombedarf für die Wärmepumpe). Neben der Senkung des Heizwärmebedarfs kommt dies vor allem der Reduktion des Hochtemperaturwärmebedarfs zu Gute, was sich entsprechend positiv auf die Erzeuger (Einsatz der Niedertemperaturwärmepumpen) auswirkt.

Die Nachtabsenkung im Bereich der Förderschule führt bei Variante 4 zu einer weiteren Absenkung des Heizwärmebedarfs auf 1.068.723 kWh.

Der Einsatz von nachgeschalteten Wärmepumpen in den relevanten Lüftungsanlagen im Sport- und Schulzentrum bei Variante 3 würde zu einer weiteren Senkung des Heizwärmebedarfs auf 1.039.934 führen. Dies entspricht noch einem Heizwärmebedarf von etwa 17 % im Vergleich zur unsanierten Ausgangsvariante.

Der Einsatz einer zentralen Lüftung im Schulzentrum führt bei Variante 10 zu einem Heizwärmebedarf von 980.977 kWh.

**Variante 0 stellt die Planungsvariante dar und wird im Vergleich zur Variante 10 mit ausschließlich zentraler Lüftung im Schulzentrum, mit dezentralen Lüftungsanlagen in den außenliegenden Zonen abgebildet. Die bedarfsgerechte Lüftung durch den Einsatz von dezentralen Lüftungsanlagen führt zu einer Senkung des Heizwärmebedarfs auf insgesamt 961.101 kWh.** Weitere Optimierungen im Heizwärmeverbrauch lassen sich nach den durchgeführten Verbesserungen nur mehr im Bereich der Abwärmenutzung treffen.

Der Einsatz einer mechanischen Wärmerückgewinnung beim Duschwasser in Variante 1 würde den Heizwärmeverbrauch auf 894.059 kWh senken. Der Einsatz einer mechanischen Wärmerückgewinnung für das gesamte Brauchwasser könnte den Heizwärmebedarf in Variante 2 auf 875.961 kWh senken. Dies entspricht noch einem Heizwärmebedarf von etwa 15 % im Vergleich zur unsanierten Ausgangsvariante. Der Einsatz einer dezentralen Wärmepumpe im Abwasserkanal könnte den Heizwärmebedarf noch etwas reduzieren, der Strombedarf muss dabei im Vergleich zur mechanischen Wärmerückgewinnung berücksichtigt werden.

Für die abschließende Anlagensimulation wird die Variante 0 als Planungsvariante mit 961.101 kWh Heizwärmeverbrauch herangezogen. Speicher- und Verteilverluste werden im Zuge der Anlagensimulation berücksichtigt und bewertet.

## Auszug aus dem Abschlussbericht IfB Sorge

Übersicht über den Einfluss von Rückgewinnungssystemen

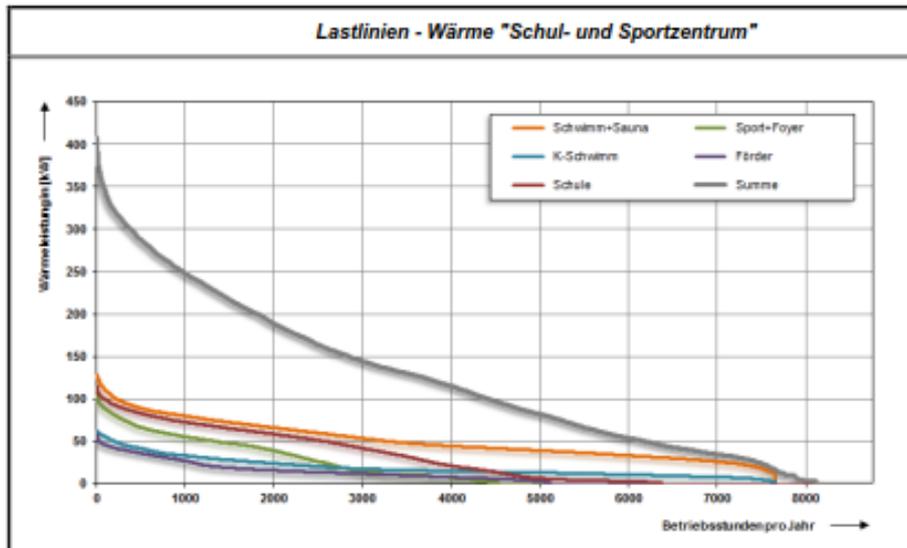
Variante	Beschreibung	Sport- und Schwimmzentrum										Kleinschwimmbahn				Förderschule		Schulzentrum						Heiz- und Kühlenergieverbrauch (ohne Leitungsverlust)																			
		Becken		Duschen		WC-Wasch-becken		RLT_A		RLT_B		RLT_C		RLT_D		Becken		Duschen		WC + Wasch-becken		RLT_E		RLT_F		HT/NT-Netz		Nachab-senkung		Zentrale RLT		Dezentrale RLT		Heizen Hochtemperatur		Heizen Niedertemperatur		Heizen Gesamt (HT+KT)		Kühlen			
		WRG	Begrenzung	WRG	Begrenzung	WRG	Begrenzung	WRG	Begrenzung	WRG	Begrenzung	WRG	Begrenzung	WRG	Begrenzung	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT	HT	NT				
V-08	wie V-07, keine WRG Sport	x	0	0	0	0	0	k. WRG	k. WRG	k. WRG	k. WRG	k. WRG	WRG	HT	0	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	k. WRG	x	k. WRG	x	k. WRG	x	569.467	257	1.547.309	1.389	2.476.996	1.539				
V-07	wie V-08, keine WRG Schule	x	0	0	0	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	k. WRG	x	k. WRG	x	569.467	257	1.138.435	976	1.707.921	1.150						
V-06	wie V-05, Förder k. WP	x	0	0	0	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	WRG	x	WRG	x	569.467	257	554.650	382	1.124.136	538						
V-05	wie V-04, Förder keine NA	x	0	0	0	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	0	0	WRG	x	WRG	x	544.101	247	554.650	382	1.068.750	529						
V-04	wie V-03, ohne WP	x	0	0	0	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG	x	WRG	x	514.074	251	554.650	382	1.068.723	521						
V-03	wie V-02a, o. Dusch-Begr.	x	0	0	0	0	0	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	0	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	x	WRG	x	514.074	251	526.860	291	1.039.934	450						
V-09	wie V-02a, jedoch keine Nachtlüftung	x	x	0	0	0	0	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	x	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	0	WRG	0									178.961	291		
V-10	wie V-02a, jedoch Schule nur zentrale Lüftung	x	x	0	0	0	0	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	x	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	x	WRG	x	363.725	155	617.252	322	960.977	412	165.506	307				
V-02a	Planung	x	x	0	0	0	0	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	x	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	x	WRG	x	363.725	155	597.376	315	961.101	401	163.360	266				
V-02b	wie V-02a, Becken K. Schwimm Überg. NT	x	x	0	0	0	0	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	NT u. WT	x	0	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	x	WRG	x	339.379	143	651.722	324	961.101	401						
V-01	wie V-02a, Dusch WRG	x	x	x	0	0	0	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	x	x	WRG-WIP	WRG	0	0	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	x	WRG	x	266.630	110	597.376	315	894.659	374						
V-02	wie V-01, Brauchw WRG	x	x	x	x	x	x	WRG-WIP	WRG	WRG	WRG	WRG	WRG	HT	x	x	WRG-WIP	WRG	x	x	WRG	WRG	WRG	WRG	NT	x	x	WRG-WIP	x	WRG	x	266.630	110	579.277	312	875.961	368						

Abbildung 17: Variantenuntersuchung - Die Abbildung zeigt die sich ändernden Parameter im Variantenvergleich u. die detaillierten Ergebnisse, Quelle: IfB Sorge



8.5.2 Jahreslastlinie Schul- und Sportzentrum

Die ermittelten Lastlastlinien für die Heizleistung des Schul- und Sportzentrums (Planungsvariante) zeigen folgenden Verlauf:



Es ergibt sich insgesamt eine Heizleistung von etwa 400 kW. Diese Heizleistung berücksichtigt abweichend zur Normheizlastberechnung nach EN 12831 neben den internen Gewinnen wie Personen, Geräte und Beleuchtung auch die solaren Gewinne bzw. Wärmeeinträge durch die Schwimmbecken. **Die finale Dimensionierung muss daher auf Basis der Simulationsergebnisse und der Normheizlastberechnung - unter Abstimmung mit dem Bauherren - auf eine sinnvolle Erzeugergröße erfolgen.**

Kleinschwimmbad, Schwimmbad und Sauna zeigen einen zeitlichen Heizwärmebedarf von bis zu 8.000 Stunden. Was bei einer konventionellen Anlagentechnik wie einem BHKW zu den gewünschten langen Laufzeiten führen würde, wird beim vorliegenden Konzept mit direkt durch PV-Strom betriebenen Wärmepumpen sowohl zum direkten Heizen (Schwimmzentrum) und Kühlen (Schulzentrum) genutzt. Neben dem verfügbaren Eis aus dem Eisspeicher, welches während der reinen Heizperiode durch den Antrieb der Wärmepumpen erzeugt wird, steht durch die Direktkühlung Kühlkälte zur Verfügung, ohne dass es einer eigenen Kälteerzeugung bedarf. **Die Kühlkälte steht somit als "Abfallprodukt der Wärmeerzeugung für das Schwimmbad" CO<sub>2</sub>-neutral mittel PV-Strom zur Verfügung.**

Abbildung 18: Lastlinien - Wärme "Schul-u. Sportzentrum



Abbildung zeigt den nicht geordneten Jahresverlauf der Heizleistung als Summe von Hoch- und Niedertemperaturbereich und den monatlichen Heizwärmeverbrauch für das gesamte Schul- und Sportzentrum (ohne Verteilungsverluste).

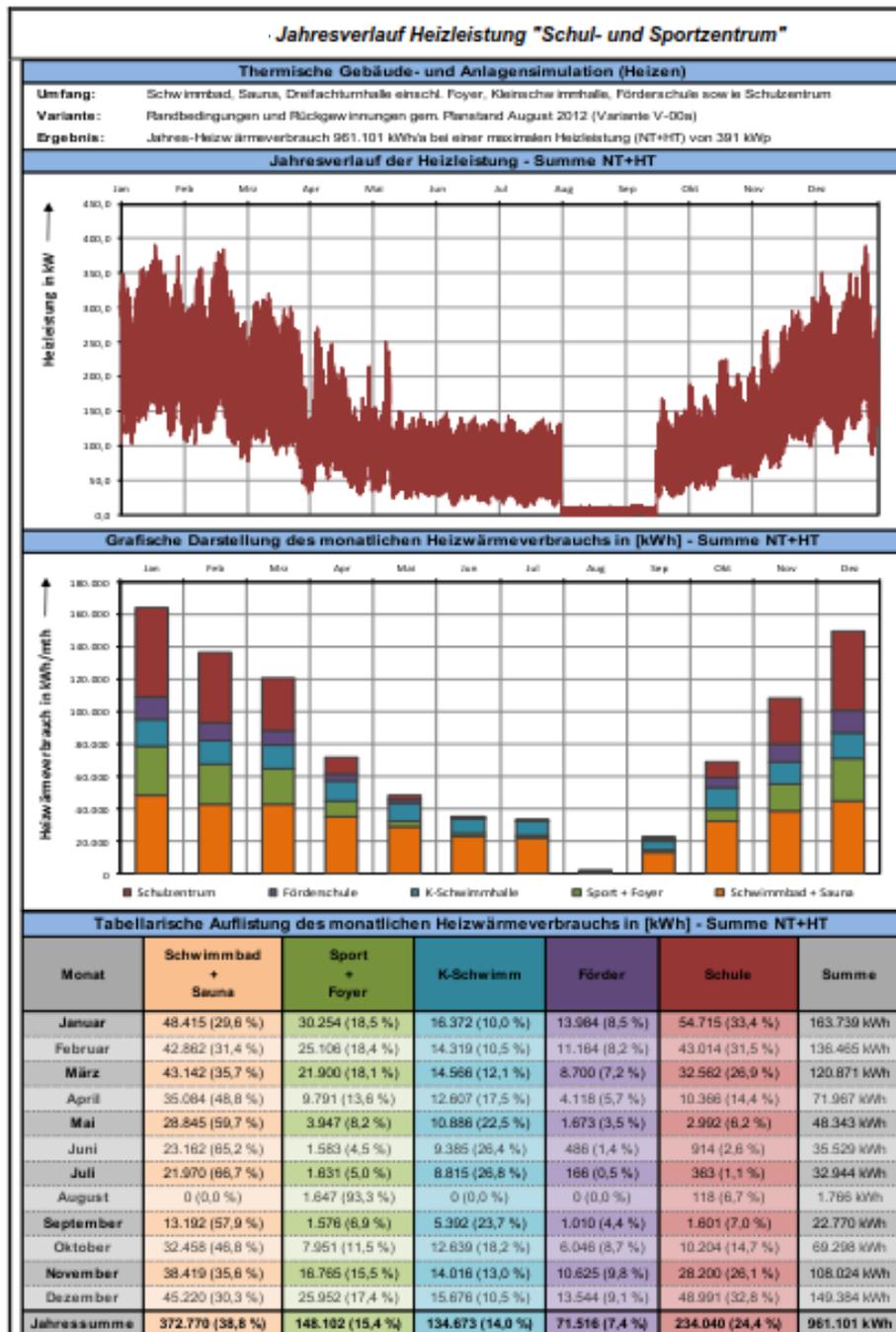
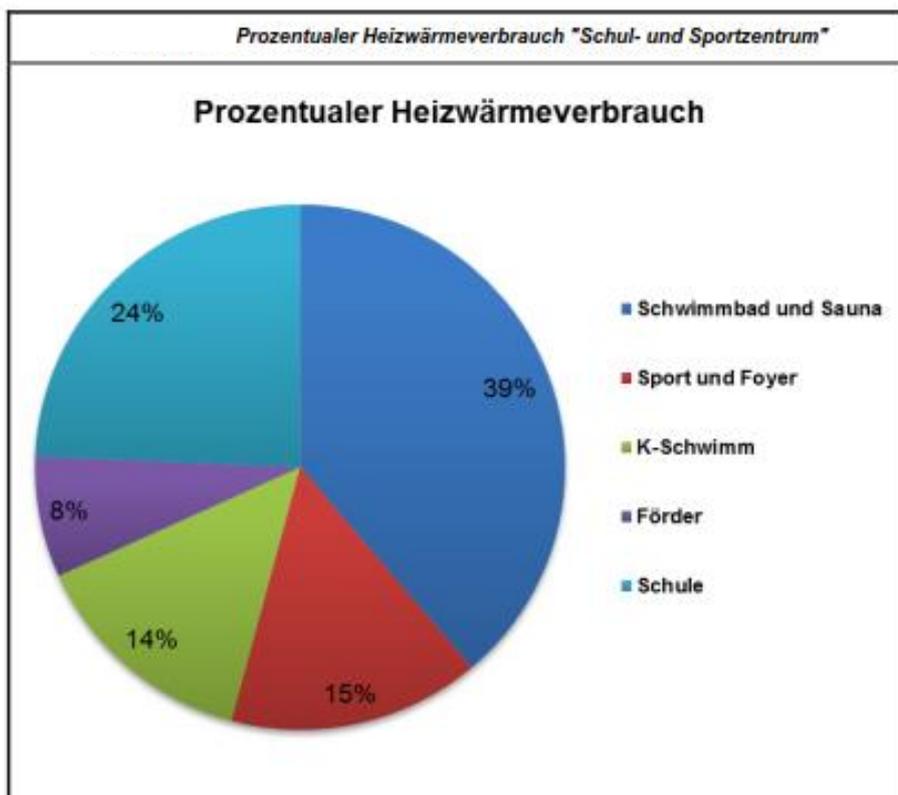


Abbildung 19: Jahresverlauf Heizleistung Schul- u. Sportzentrum, Quelle: IfB Sorge



Der gesamte Heizwärmeverbrauch für das Schul- und Sportzentrum, ohne Berücksichtigung von Verteilungs- und Speicherverluste ergibt sich zu etwa 960.000 kWh. Für die einzelnen Gebäudebereiche ergibt sich dabei folgende prozentuale Aufteilung des Heizwärmeverbrauchs:



Die beiden Schwimmbäder mit angeschlossener Sauna verbrauchen mit 53 % mehr als die Hälfte des gesamten Heizwärmeverbrauchs. Das Sportzentrum verbraucht weitere 15 %, die unsanierte Förderschule liegt bei einem Anteil von 8 % und das sanierte Schulzentrum liegt bei etwa 24 %.

Abbildung 20: Prozentualer Heizwärmeverbrauch Schul- u. Sportzentrum, Quelle: IfB Sorge



**8.5.3 Heizwärmebedarf während des Nachtzeitraums**

Abbildung zeigt den Heizenergiebedarf des gesamten Schul- und Sportzentrums im Zeitraum von 20:00 - 08:00. Hier würde sich für den Nachtzeitraum ein maximaler Heizenergiebedarf von etwa 2.250 kWh im Niedertemperaturnetz, 250 kWh im Hochtemperaturnetz und 250 kWh für die Beckenerwärmung ergeben:

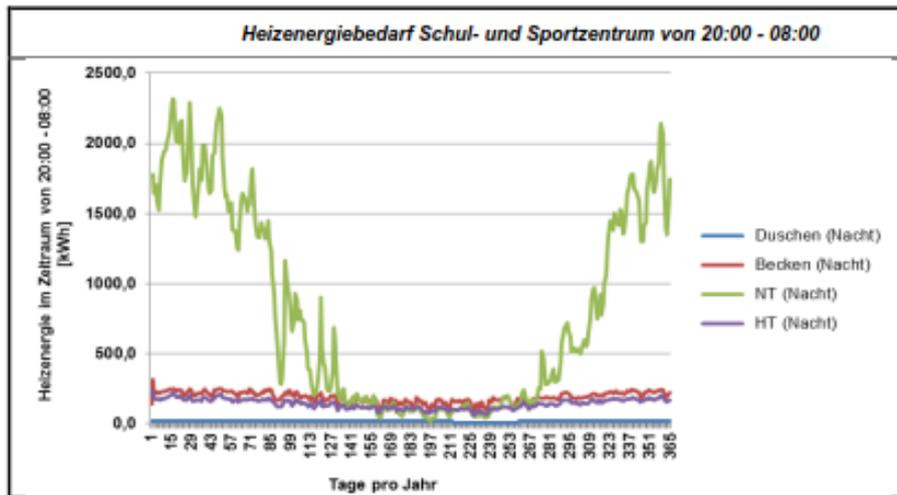
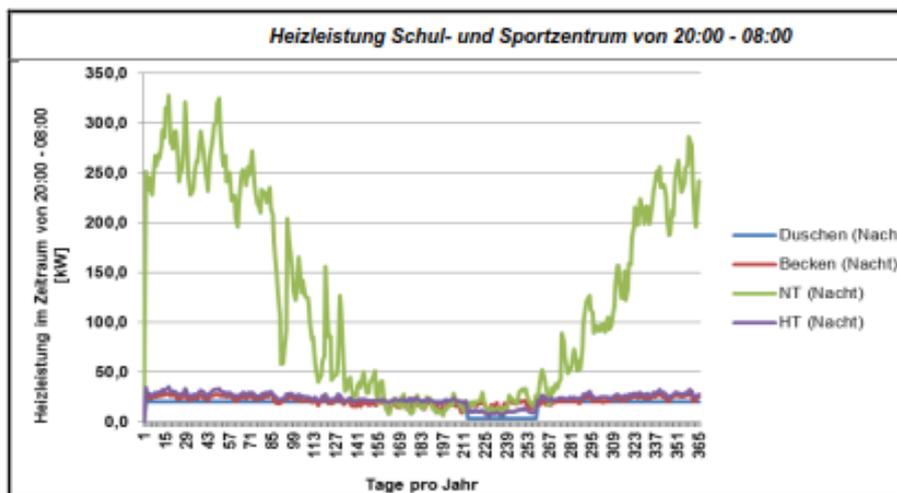


Abbildung 21: Heizenergiebedarf Schul- u. Sportzentrum von 20:00-08:00, Quelle: IfB Sorge

Abbildung zeigt für denselben Zeitraum die maximalen Heizleistungen des Schul- und Sportzentrums:



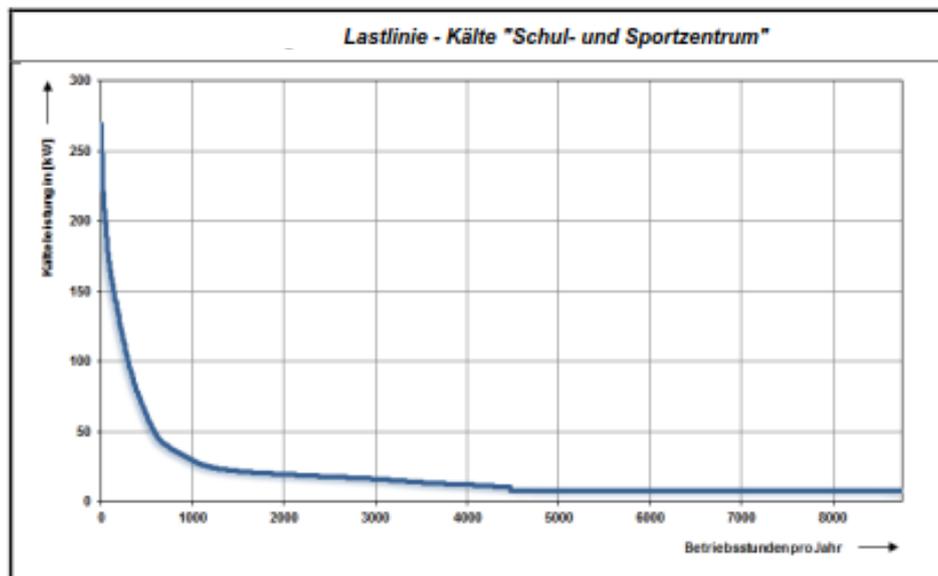
Der ermittelte Heizenergiebedarf im Nachtzeitraum wurde für die Dimensionierung des Schichtspeichers herangezogen, wobei aus wirtschaftlichen Gründen (Investitionskosten) der Speicher nicht auf den maximalen Heizwärmebedarf dimensioniert wurde.

Abbildung 22: Heizleistung Schul- u. Sportzentrum von 20:00-08:00, Quelle: IfB Sorge



## 8.6 Kühlkältebedarf

Die ermittelte Lastlastlinie für die Kühllast des Schulzentrums zeigt folgenden Verlauf:



Es ergibt sich eine maximale Kühllast von etwa 280 kW, wobei sich Kühllastspitzen über 100 kW lediglich an etwa 350 Stunden im Jahr einstellen. Die ganzjährige Grundlast über 8.760 Stunden ergibt sich wegen der Serverraumkühlung und der Kühlung von EDV-Räumen.

In **Anlage 50** ist der nicht geordnete Jahresverlauf der Kühllast des Schulzentrums und den monatlichen Kühlkälteverbrauch dargestellt. Bei der Darstellung des monatlichen Kühlkälteverbrauchs ist die Kühlenergie aufgetragen, welche durch die Nachtlüftung mittels Lüftungsanlagen abgedeckt werden kann. Die Nachtlüftung mittels zentraler und dezentraler Lüftungsanlagen reduziert den gesamten Kühlkälteverbrauch um etwa 9 % von 178.961 kWh auf 163.360 kWh. Die maximale Kühllast reduziert sich dabei von 291 kW auf etwa 266 kW.

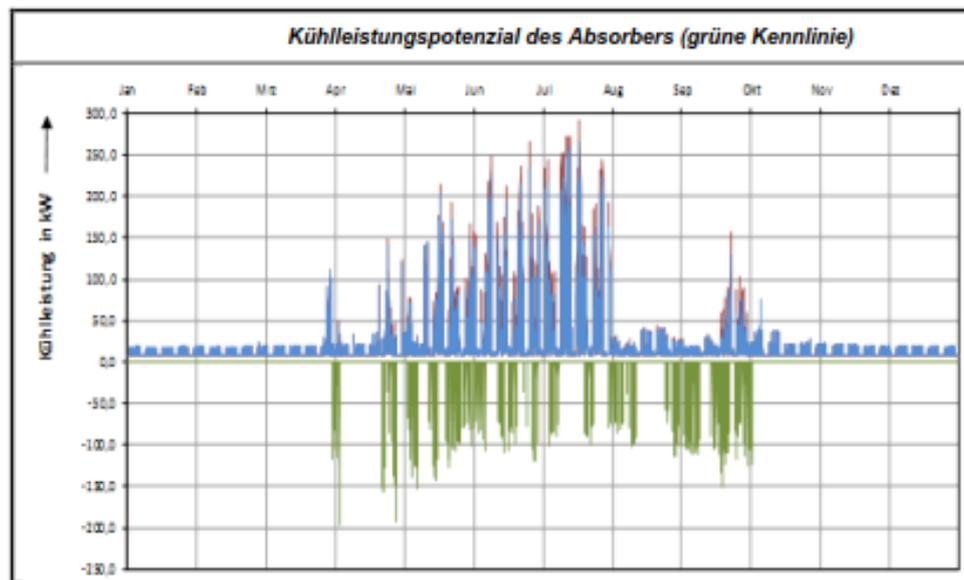
Die Abweichungen zur ermittelten Einsparung für den Einzelraum ergeben sich durch die möglichen unterschiedlichen Belegungen aller Räume, welche in der Gesamtsimulation berücksichtigt wurden (halbtags, ganztags und leer mit unterschiedlicher Personenbelegung). Die Parameterstudie am Einzelraum bezieht sich hingegen auf eine ganztägige Belegung mit 21 Personen.

**Abbildung 23:** Lastlinie - Kälte Schul- u. Sportzentrum, Quelle: IfB Sorge



Zusätzlich wird bei der Darstellung von Kühllast und Kühlkälteverbrauch das theoretische Potenzial durch die Strahlungskühlung in den Nachtstunden mittels der Absorber aufgetragen (grüne Kennlinie).

Bei voller Ausschöpfung des Potenzials würde sich der Kühlkälteverbrauch um etwa 55.000 kWh reduzieren lassen. Die maximale Kühllast könnte um weitere 66 kW - auf insgesamt 200 kW Kühllast - gesenkt werden.



Dies setzt allerdings eine Anpassung der Kältspeichergroße voraus, da im Moment nur in den Nachtstunden die Räume bei Bedarf mittels Kaltwasser aus dem Absorber gespült werden.

Das volle Potenzial der Nachtkühlung mittels Absorber bedingt daher auch einer kurzfristigen Zwischenspeicherung, ähnlich wie beim mit PV-Strom direkt erzeugten Wärmeüberschuss im Schichtspeicher - für die Deckung der nächtlichen Transmissionsverluste.

Abbildung 24: Kühlleistungspotenzial des Absorbers (grüne Kennlinie), Quelle: IfB Sorge



**Energieversorgungskonzept:**

Der Heizwärme- und Kühlkältebedarf wurde im Zuge der Bearbeitung durch diverse Maßnahmen (Thermische Hülle, Raumautomationsgrad, Wärme- und Kälterückgewinnung, Nachlüftung, Warmwasserbereitung mit Niedertemperaturwärme, etc.) weitestgehend minimiert. Dies stellt die Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz Erneuerbarer Energien dar.

Das finale Anlagenkonzept sieht neben einem Blockheizkraftwerk und einem Gas-Spitzenlastkessel auch direkt mit Photovoltaik-Strom (Kombination aus gebäudeintegrierte PV und auf dem Flachdach aufgeständerter PV in Süd / Ost / West Ausrichtung) angetriebenen Hochtemperatur- und Niedertemperatur Wärmepumpen vor, welche als Umweltenergie sowohl die sensible und latente Energie aus einem Eisspeicher wie auch die Energie solarthermischer Umweltabsorber nutzen können. Die Umweltabsorber werden zusätzlich für die Regeneration des Eisspeichers, die Direktversorgung des Schwimmbeckens sowie zur nächtlichen Strahlungskühlung im Sommer eingesetzt.

Zur effektiven Speicherung der durch die erneuerbaren Energien bereitgestellten Wärme und Kälte - werden Langzeitspeicher (Eisspeicher) sowie Kurzzeitspeicher (Warmwasser-Schichtspeicher und Kaltwasserspeicher) eingesetzt.

**Heizwärme- und Kühlkältebedarf:**

Für das Sport- und Schulzentrum einschließlich der neu errichteten Kleinschwimmhalle ergibt sich einschließlich Verteilungs- und Speicherverlusten ein jährlicher Heizwärmebedarf von 1.073.782 kWh und ein jährlicher Kühlkältebedarf von 163.360 kWh. Der jährliche Heizwärmebedarf sowie die prozentuale Einsparung durch die Sanierung gliedern sich für das Schul- und Sportzentrum dabei wie folgt:

Gebäude	Heizwärmebedarf Bestand [kWh / a]	Heizwärmebedarf Sanierung [kWh / a]	Prozentuale Einsparung [%]
Schulzentrum	3.159.000	262.005	- 91,7
Förderschule	105.000	79.459	-24,3
Sport- und Schwimmzentrum	1.391.000	581.989	- 58,2
Kleinschwimmhalle	-	150.329	+ 100



Die Einsparungen bei der unsanierten Förderschule ergeben sich durch Nachtabsenkung und geringere Verteilverluste, da die Hochtemperaturwärmepumpe in der Förderschule am Niedertemperaturnetz des Schulzentrums angeschlossen wird. Die Kleinschwimmhalle wird neu errichtet und stellt daher im Vergleich zum Bestand 100 % Mehrbedarf dar.

**Endenergiebezug:**

Zur Abdeckung des jährlichen Heizwärme- und Kühlkältebedarfs einschließlich des Strombedarfs zum Betrieb von Geräten (PC's, Beleuchtung...) ergeben sich für den Bestand und die Planungsvariante folgende notwendige Endenergiebezüge bzw. mögliche Netzeinspeisungen von Strom mittels Photovoltaikanlage und Blockheizkraftwerk:

Endenergie	Bestand	Planung
Erdgas / Biogas [kWh / a]	ca. 5.000.000	401.798
Strom / Ökostrom [kWh / a]	ca. 1.050.000	568.621
Stromeinspeisung [kWh / a]	-	89.393

Im Vergleich zum Bestand ergibt sich bei der Planungsvariante eine Reduktion des Gasbezugs um etwa 92 % und beim Strombezug um etwa 46 %, wobei im Vergleich zum Bestand zusätzlich die Kleinschwimmhalle mitversorgt wird. Zusätzlich ergibt sich eine mögliche Stromeinspeisung PV / BHKW von ~ 90.000 kWh/a.

**CO<sub>2</sub> - Neutralität:**

Durch die Sanierung ergeben sich im Vergleich zum Bestand folgende jährliche Treibhausgasemissionen für die Planungsvariante. Je nach Versorgung mit Erdgas oder Biogas bzw. Strom oder Ökostrom ergibt sich eine Streubreite in den künftigen Treibhausgasemissionen:

Treibhausgasemissionen	Bestand	Planung
Strom und Gas [Tonnen CO <sub>2</sub> -Äquivalent / a]	2.331	49 - 454
Mögliche Reduktion durch Einspeisung PV-Strom [Tonnen CO <sub>2</sub> -Äquivalent / a]	-	55,1

11220

- 124 -



Die jährlichen Treibhausgasemissionen im Bestand liegen bei etwa 2.331 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äq/a. In Bezug auf die Planungsvariante ergibt sich je nach Zukauf von Strom oder Ökostrom bzw. Erdgas oder Biogas eine Reduktion zwischen 80 % und 98 %. Die Gegenrechnung der Stromeinspeisung kann die Emissionsbilanz zusätzlich verbessern.

11220

- 127 -

**Fazit:**

Ein vollständig CO<sub>2</sub>-neutraler Betrieb des Schul- und Sportzentrums ist mit der Planungsvariante bei Gegenrechnung der Stromeinspeisung aus den PV-Anlagen und gezielter Auswahl von Ökostrom oder Biogas als Endenergieträger möglich. Aufgrund der geringeren solaren Einstrahlung im Winter und der damit verbundenen geringeren Laufzeit der Wärmepumpen mit PV-Strom muss jedoch speziell in der Heizperiode Netzstrom für den Antrieb der Wärmepumpen aufgewendet werden. Dies reduziert die Performance der Planungsvariante etwas. Wie aufgezeigt, kann dies durch eine größere PV-Anlage mit geteilter Süd/Ost/West Ausrichtung jedoch optimiert werden.

Ähnliche Ergebnisse können bei Auswahl des Endenergieträgers (Ökostrom und Biogas) und Gegenrechnung der Stromeinspeisung durch die PV-Anlage auch mit der Referenzvariante erzielt werden. Dies liegt unter anderem an dem bereits sehr deutlich reduzierten Heizwärmebedarf für das Schul- und Sportzentrum. Steht am Standort die benötigte Energie an Biogas nicht zur Verfügung, so würde die Referenzvariante wieder den momentanen Baustandard widerspiegeln - Verbrennung fossiler Brennstoffe mit überwiegender Netzeinspeisung des Ertrags aus PV-Anlage und BHKW, mit der bekannten Problematiken der Netzüberlastung zur Mittagszeit. Durch die gezielte Nutzung des erzeugten Stroms zur Überladung eines Kurzzeitspeichers mittels Wärmepumpen - werden sowohl Verbrennungsvorgänge wie auch die Netzbelastung deutlich reduziert. In Kombination mit dem Zukauf von Ökostrom bzw. Biogas kann das gesamte Schul- und Sportzentrum CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden.

Auf Basis der ermittelten Energiekennwerte wird eine Bewertung der **Investitionskosten** dringend empfohlen. Diese muss auch die wiederkehrenden Investitionskosten der Anlagentechnik nach der Nutzungsdauer - und zwar ohne Förderung - berücksichtigen, um eine wirtschaftliche Variante umzusetzen.

Die Entscheidung für den CO<sub>2</sub>-neutralen Betrieb kann auf Basis der künftigen **Betriebskosten** für Strom oder Ökostrom bzw. Gas oder Biogas getroffen werden.

Ende des Auszugs aus dem Simulationsbericht des IfB Sorge

## Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte

Bereits in der Vorplanung war es wichtig, die einzelnen Bauabschnitte der umfassenden Sanierung der Schule mit den Schulleitern dahingehend abzustimmen, dass die Schüler innerhalb der Schule umziehen und Ersatzräume benutzen konnten, ohne Container zu benötigen. Die Bauabschnitte mussten baulich aus statischen, sicherheitstechnischen und erschließungstechnischen Gesichtspunkten so gewählt werden, dass der Baubetrieb gesondert erschlossen werden konnte und durch eine provisorische Schallschutzwand vom Schulbetrieb sowohl akustisch, als auch sicherheitstechnisch abgeschlossen war. Hierbei ist außerdem jeweils der Rettungsweg im Schulbetrieb für die Schüler umfänglich zu berücksichtigen, als auch im zu sanierenden Bereich die Transportwege und Zugänge für die Handwerker.

Bei der Wahl dieser Bauabschnitte musste außerdem sichergestellt sein, dass die verbleibenden Schulräume benutzbar blieben; d. h. mit Heizung, Strom und Wasser weiterhin versorgt werden und entsprechende Sanitäranlagen zur Verfügung stehen.

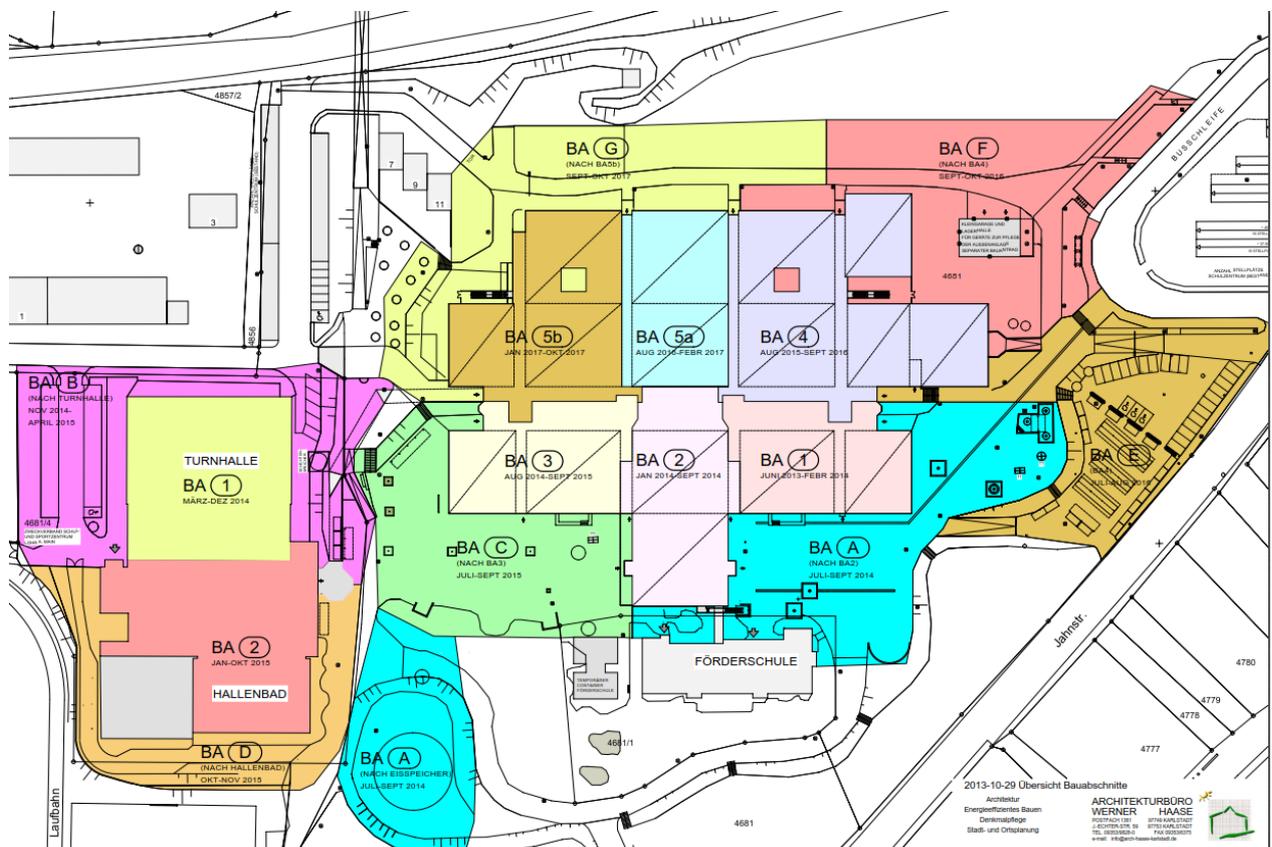


Abbildung 25: Übersicht Lageplan Bauabschnitte - Quelle: AB Haase

Bereits in der Vorentwurfsplanung wurde der Baubetrieb im System geplant und die damit verbundenen Baustoffe festgelegt. Im Falle Lohr ist es z. B. erforderlich gewesen, die Arbeiten an ca. 11.100 m<sup>2</sup> Dachfläche an der Schule und ca. 6.300 m<sup>2</sup> Fassadenfläche so zu planen, dass Bauzeiten möglichst sicher eingehalten werden können. Es war daher notwendig, die Arbeiten an Dach und Fassade sicherheits- und arbeitstechnisch vom Innenausbau abzukoppeln. Außerdem war es sehr wichtig, Ausführungen zu wählen, die möglichst nicht zu stark von Wetter oder Frost abhängig sind.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist bei der Planung, dass bei einer späteren Reparatur oder Sanierung Materialien problemlos getrennt und wiederverwendet oder aber problemlos entsorgt werden können.

Während der Voruntersuchungen und aufgrund der Reparaturkostenanalyse stellten sich die 203 Lichtkuppeln im Schulbereich und die umfangreichen Sheddachbereiche als deutliche Kostenfaktoren sowohl bei der Errichtung, als auch bei den Reparaturkosten heraus. Sehr viele Lichtkuppeln störten den Betrieb von Beamern und einige Lichtkuppeln waren funktionslos, da z. B. abgehängte Decken die Innenwirkung störten, aber auch im Außenbereich durch Bauteile überbaut und verschattet waren. Es konnten daher in der Gesamt-Dachlandschaft die Anzahl auf ca. 43 Lichtkuppeln verringert werden und die Sheddächer wurden durch Flachdächer mit teilweise Lichtkuppeln ersetzt.

Durch Integration von 4 Lichtzeldächern werden weite Bereich von innenliegenden Räumen mit Tageslicht versorgt. Dies hat den gesamten Schulinnenbereich deutlich aufgehellt und den bisherigen, zum Teil tristen Eindruck der grauen Betonwände durch Tageslicht wesentlich attraktiver gemacht.



Abbildung 26: Lichtzeldach neu - Quelle: AB Haase

Durch die Vereinfachung der Dachlandschaft konnten sowohl Investitionskosten, als auch das Reparaturrisiko gesenkt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die PV-Anlagen großflächig auf dem Dach eingerichtet werden können.



Abbildung 27: Dachlandschaft - Bestand und saniert - Quelle: AB Haase

Ein wichtiger Bestandteil der Bauabwicklung war der Ablaufplan und die Organisation der Baudurchführung. So wurden zuallererst Gerüste um den Gebäudeteil, der saniert wurde, errichtet, um damit die bestehende Fassade und die Fensteranlagen abzubauen. Parallel dazu erfolgte der Rückbau im Inneren des Gebäudes der leichten Trennwände, aller Installationen und abgehängten Decken.

Sodann wurde die neue Metall-Attika errichtet, an die wiederum das bestehende Flachdach provisorisch angeschlossen wurde, sodass die Regensicherheit aufrechterhalten werden konnte. Gleichzeitig wurden die Lichtkuppeln ausgebaut und entweder ebenso verschlossen, oder neue Lichtkuppeln so eingebaut, dass auch hier wiederum das Bestandsdach provisorisch angeschlossen werden konnte. Damit wurde die Gefahr eines Durchbrechens von Bauarbeitern durch eine Bestandslichtkuppel schnell beseitigt und die Dichtigkeit des Daches aufrechterhalten.

Auf die oben erwähnte Metall-Attika wurde einerseits eine Absturzsicherung durch die Flachdach- und Fassadenbaufirma eingebaut und andererseits eine sogenannte „Maßlehre“ für die Einteilung der Fensteranordnung in Abstimmung mit dem Fassadenbau angebracht. Diese „Maßlehre“ vor Ort war ab da für Fassaden- und Fensterbauer gegenseitig bindend.

Nach Anbringen von Maßlehre und Absturzsicherung wurde nach kurzer Zeit das Fassadengerüst demontiert. Dies war möglich, da zwischenzeitlich Fensterbrüstungen eingebaut wurden, die gleichzeitig die Funktion einer Absturzsicherung erfüllten. Die neuen Fenster wurden von innen her eingebaut. Dafür war kein äußeres Gerüst notwendig.



Abbildung 28: Dacharbeiten mit Absturzsicherung - Quelle: AB Haase

Nach Abbau des Außengerüsts war es nun möglich, die Erdarbeiten für die Abdichtung der erdberührenden Wände und zum Einbau der Perimeterdämmung vorzunehmen. Danach wurde die Oberfläche wieder hergestellt und der Fassadenbauer konnte mit eigenen Gerüsten oder Hubbühnen, je nach Bedarf, vom Zeitplan abgekoppelt vom Innenausbau und von den Dacharbeiten, seine Fassade einbauen. Dies wiederum weitgehend unabhängig von Frost oder anderen Witterungseinflüssen.

Die vorhandenen Flachdächer waren mit lediglich 60mm Styropordämmung ausgeführt. Durch zusätzliche Polystyrolämmstoffplatten (EPS WLG 035) wurde die Dämmstärke auf ca. 300mm erhöht. Damit ergibt sich im Mittel ein Dämmwert der überarbeiteten Dachkonstruktion von  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Allerdings stellte sich während der Ausführung in vielen Bereichen heraus, dass die Bestandsdämmung durchfeuchtet war bzw. die Bitumenschicht durch zusätzliche Reparaturen zusätzliche Bitumenlagen eingeklebt waren. Dies hatte zur Folge, dass die Oberfläche Unebenheiten aufwies. Aufgrund dessen und wegen der Durchfeuchtung musste daher der Aufbau in vielen Bereichen komplett ersetzt werden.

Die Dacheindeckung wurde als rollnahtgeschweißtes Edelstahlflachdach ausgeführt. Zur Lagesicherung wurde das Dach mit 50mm Kiesauflast versehen. In die Dachfläche sind diverse Dachgullys innen- und außenliegende Notüberläufe, Entlüftungsschächte, Dunstabzugsrohre, Sekuranten und ein Fortluftturm sowie ein Außenluftansaugturm der Lüftungsanlage integriert. Die Dachgullys, Notüberläufe, Entlüftungsschächte, Sekuranten und Dunstabzugsrohre aus Edelstahl sind Eigenfertigungen der ausführenden Firma. In einem regelmäßigen Raster wurden Schläuche unter der Dachhaut zur Attika verlegt, um im Schadensfall Undichtigkeiten leicht mittels Tracergas und einem auf das eingesetzte Gas abgestimmten Detektor zu orten.



Abbildung 29: Edelstahldach in der Erstellungsphase - Quelle: AB Haase

In die Attika ist ein temporäres Kollektivschutzsystem integriert, das ein Arbeiten ohne Fanggerüst ermöglicht. Nach Abschluss der Dacharbeiten wird dieses demontiert.

Von den insgesamt 203 schlecht gedämmten Lichtkuppeln wurden 43 beibehalten und durch hochwärmedämmte Lichtkuppeln ersetzt. Es kamen außenseitig wärmedämmte verzinkte Stahl-Aufsatzrahmen zum Einsatz, die auf die bestehende Dachkonstruktion aufgesetzt wurden. Auf diesen wird ein für Edelstahldächer angepasstes hochwärmedämmendes Lichtkuppelsystem mit einem U-Wert von  $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$  montiert. Die Dachhaut wurde umlaufend 200mm an der Lichtkuppel mit ausreichend Luft für die Dehnung hochgeführt. Von oben her überdeckt ein Stulprahmen die Aufkantung. Die Sheddach-Konstruktionen wurden größtenteils wie die restlichen Lichtkuppeln abgebaut und die Öffnungen verschlossen und anschließend überdämmt.

Die weitläufige Dachlandschaft hat kein Gefälle, es war Ziel, die innenliegenden Abläufe des Bestandsdaches möglichst nach außen zu verlegen, was jedoch aufgrund der Größe der Dachflächen und der vorhandenen Ablaufsysteme nicht möglich war. Die Ausbildung von Gefällen durch Einbau von Wärmedämmelementen mit Gefälle hätte z. T. sehr große Dämmstärken bedeutet mit entsprechenden Kosten und Problemen in Bezug auf den Anschluss von Lichtkuppeln, Installation der PV-Anlage, Fluchtwegen auf dem Dach sowie eventuellen Setzungen der Dämmung.

Das Edelstahlblechdach kann mit geringstem Gefälle bzw. mit 0% Gefälle ausgeführt werden, da es eine dichte Edelstahlwanne ist, an die alle Anschlüsse, Durchdringungsbauteile und Abläufe eingeschweißt sind. Die Überläufe selbst sind ausreichend groß dimensioniert und entwässern durch die Attika nach außen. Interessant in diesem Zusammenhang ist, dass diese Dachkonstruktion außerordentlich leicht ist, da das Blech mit  $4 \text{ kg/m}^2$  anzusetzen ist. Während der Bauabwicklung wurden immer wieder Bestandsbereiche angetroffen, in der bis zu 10 Reparaturlagen Bitumenabdichtungen eingeklebt waren. So wurde z. B. auf dem Dach über der Sporthalle 87 t Bitumen-Dachaufbau entsorgt, in dem wiederum z. T. Abdeckkies eingedrungen war. D. h. das Bestandsdach hat im Laufe der Zeit bedeutend an Gewicht zugenommen, ohne dass die Statik für die jeweiligen Reparaturen überprüft worden wäre. Dieses Problem ist bei einem Edelstahldach in Zukunft völlig ausgeschlossen. Weiterhin ist die Dachoberfläche frei von brennbaren Materialien.

Insgesamt wurde die Hülle der Fassade durch Thermografie-Aufnahmen überprüft. Die Überprüfung fand durch Herrn Prof. Lass, Leiter der Studienrichtung Technik der Gebäudehülle an der Hochschule in Rosenheim statt.



Abbildung 30: Fassade (Quelle: Thyssenkrupp)



Abbildung 31: Fassade (Quelle: Thyssenkrupp)

Im Innenbereich gab es im Bestand zwischen den Räumen Metalltrennwände, die zwar sehr wartungsarm gewesen sind, aber mittlerweile die Zulassung verloren haben. Gerne hätten wir wiederum Metalltrennwände eingebaut; dies war jedoch nicht möglich, da der Anschluss der Metalltrennwände zu den vorhandenen Rippendecken technisch nicht gelöst werden konnte und Durchdringungen z. B. für Lüftungsleitungen oder Stromtrassen nicht entsprechend brandsicher verschlossen werden können. Diese Durchdringungen hätten außerdem aus optischen Gründen nur oberhalb einer abgehängten Decke angeordnet werden können, was wiederum Revisionen erschwert. Aus diesem Grunde wurden Gipskartontrennwände eingebaut, die in der Oberfläche nicht so robust sind, wie die Blechwand, aber bei denen die Anschlüsse problemlos durchgeführt werden konnten. Wichtig hierbei war, dass die Aussparungen für die Türen besonders stabil ausgeführt werden, da die Einbaurichtlinien der Gipskartonlieferanten sehr unterschiedlich sind. Im Bereich der Türen sind die Empfehlungen der Plattenhersteller zum Teil unklar und zum Teil nicht ausreichend. In unserem Bauvorhaben wurden verstärkte Profile verwendet, die sicherstellen, dass sich die schweren Türblätter nicht auf Dauer senken oder die Wand lockern.

In stark frequentierten Gangbereichen wurden die Gipskartonplatten mit einer ca. 3-4mm starken keramischen Großfliese belegt. Diese Ausführungsart hat sich bisher sehr gut bewährt; trotz 3jähriger Benutzung in Teilbereichen gibt es hier noch keine Schäden, im Gegensatz zu ungeschützten Gipsputzflächen.

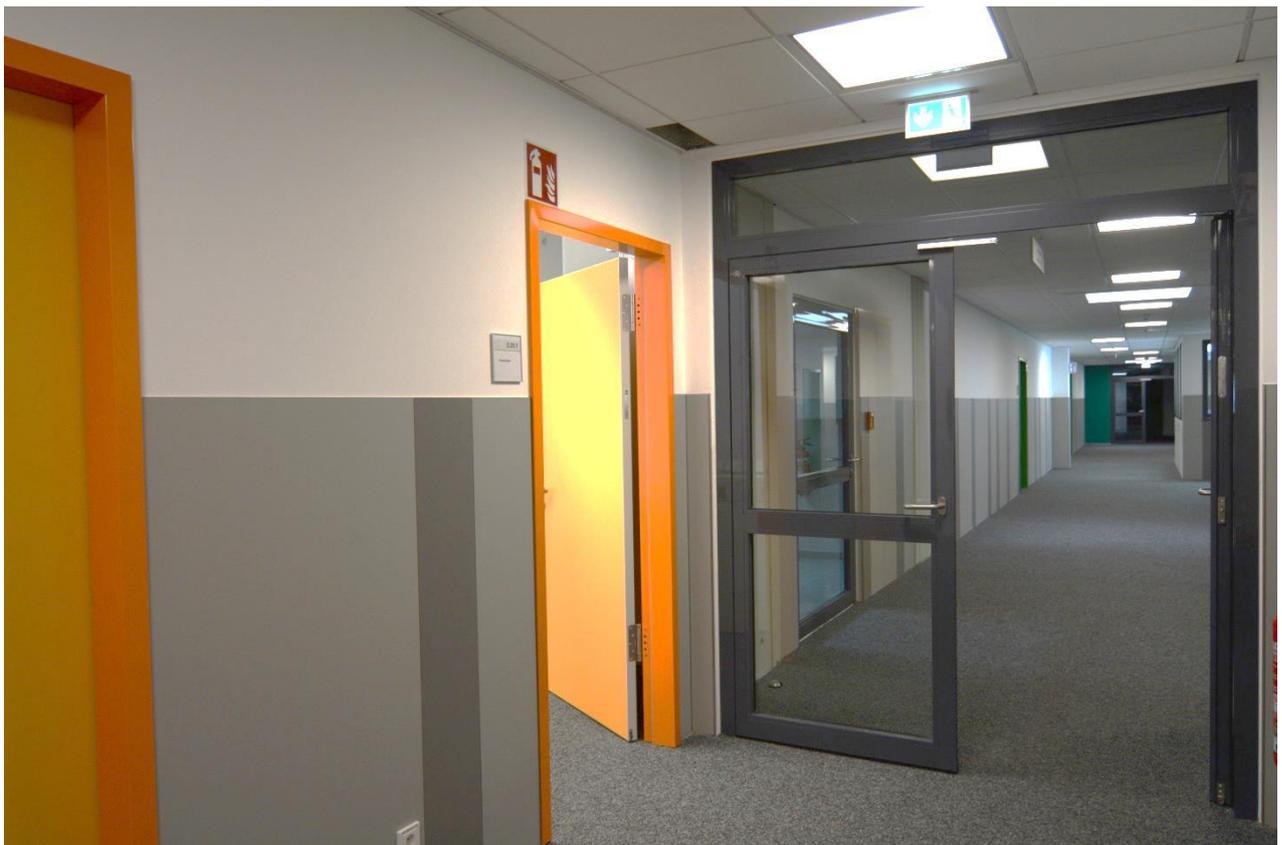


Abbildung 32: Gangwand - Quelle: AB Haase

## Gebäudetechnik

Die Gebäudetechnik wurde in der Vorkonzeptionierung so entwickelt, dass möglichst Energiekreisläufe entstehen. D. h. das Schulgebäude hat eine sehr gute Wärmedämmung, sodass der Anteil von Lüftungsverlusten ohne Wärmerückgewinnung in der Größenordnung des Transmissionswärmeverlustes liegt. Aus diesem Grund werden alle Lüftungsgeräte mit einer WRG >80 % ausgestattet. Der restliche Energieverbrauch soll aus der Heizzentrale versorgt werden.

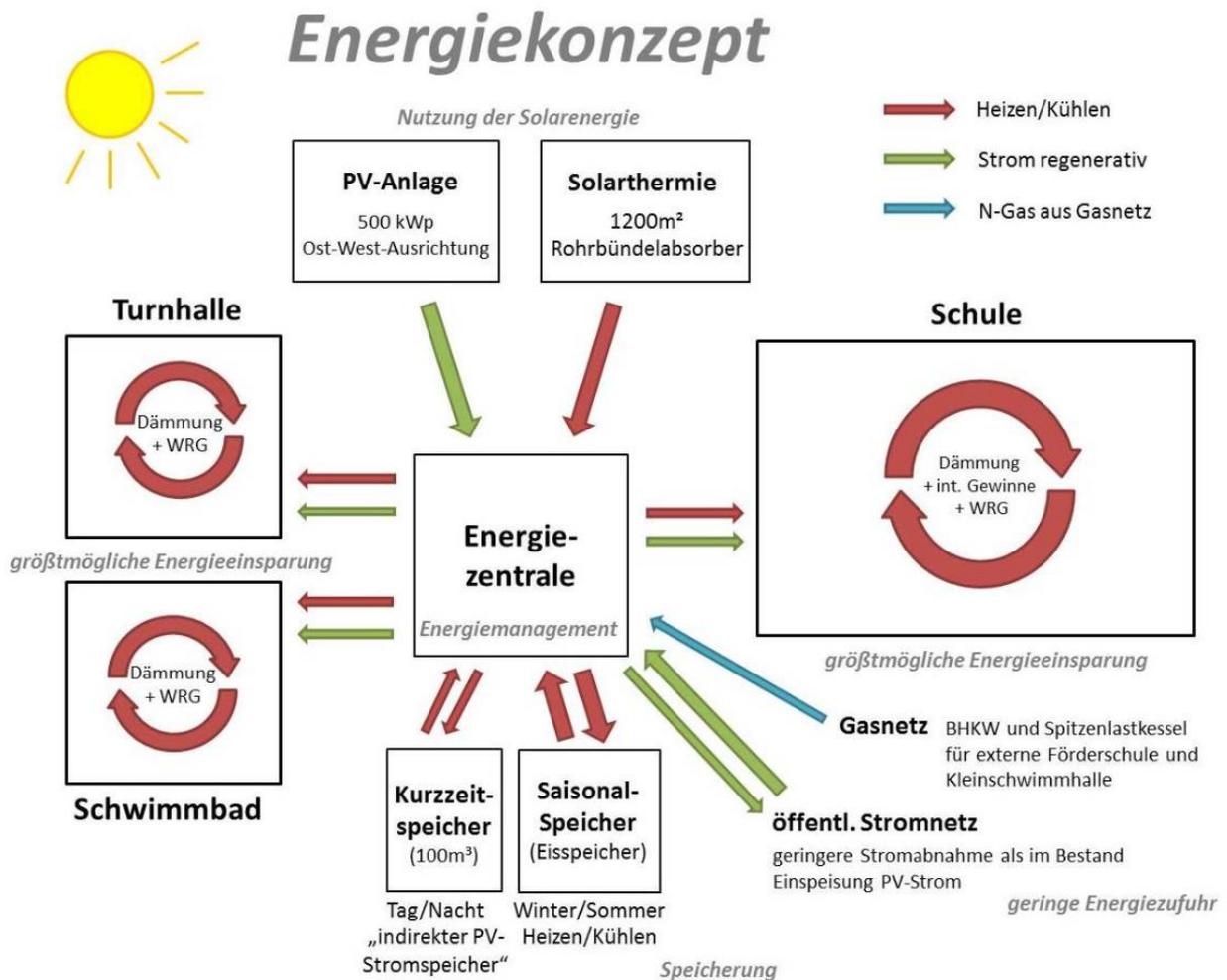


Abbildung 33: Energiekreislauf - Konzept - Quelle: AB Haase

Im Bereich Schwimmbad sah das Konzept vor, dass das Beckenwasser direkt mit der rückgewonnenen Energie aus dem gesamten Abwasser des Schul- und Sportzentrums, welches bis auf 2°C abgekühlt wird, warmgehalten wird. Wenn diese Energiemenge nicht ausreicht, sah das Konzept vor, aus der Zentrale dazu zu heizen.

Da der Schwimmbadbereich mit Luft beheizt wird und diese Schwimmbadluft feuchtebelastet ist, ist hier eine Lüftungsanlage mit mehr als 80% WRG vorgesehen. Die verbleibende Energiemenge in der Abluft wird zusätzlich mit einer WP so entwärmt, dass die darin enthaltene Energiemenge die Zuluft dermaßen bewärmt, dass hier sehr wenig oder keine Energie aus der Heizzentrale benötigt wird.

Im Bereich Sporthalle wird mit der rückgewonnenen Lüftungswärme aus dem Bereich der Feuchträume die Sporthalle beheizt. Die Luft aus der Sporthalle wird über die Umkleiden bzw. Duschräume geführt und dort nacherwärmt. Auch hier findet das Kreislaufprinzip seine Anwendung.

Ziel des Systems der höchstmöglichen Wärmerückgewinnung („Energiercycling“) ist in der Konzeption, dass nur geringe Energiemengen aus der Heizzentrale angefordert werden müssen, wenn die Kreisläufe in Betrieb sind. Im Schulbereich konnte davon ausgegangen werden, dass durch interne Wärmegewinne von Schülern, Beleuchtung und z. B. Beamern dazu führten, dass während des Schulbetriebes in weiten Teilen des Jahres keine aktive Heizung notwendig ist.

Es gibt mittlerweile von "Bine Informationsdienst" eine Broschüre "Lüften in Schulen". Hierin heißt es u.a. dass in einer Schule bei einer Außentemperatur von mehr als +5°C keine Heizung während des Schulbetriebes notwendig ist und dass in 90% der Unterrichtsstunden bei "mittlerem Deutschlandklima" eine Außentemperatur zw. -1°C und +25°C herrscht. Während der Aufheizphase der Klassenräume vor Unterrichtsbeginn treten geringere Außentemperaturen auf.

Um einen möglichst hohen Eigenstrom-Nutzungsgrad des Stromes aus der PV-Anlage zu erreichen, war im Konzept weiterhin vorgesehen, dass ein Schichtspeicher mit 100 m<sup>3</sup> Wasserinhalt möglichst in den Zeiten, in denen z. B. in der Schule ein geringer Wärmebedarf durch den Betrieb besteht und gleichzeitig die Umweltwärme gegen Mittag oder frühen Nachmittag erfahrungsgemäß am intensivsten ist, aufgeladen werden sollte. D. h. im Speicher soll tagsüber ein Energieüberschuss eingelagert werden, der hauptsächlich den nächtlichen Bedarf und den erhöhten Wärmebedarf der morgendlichen Spüllüftung abdeckt. Ziel hierbei ist, dass eventuelle PV-Stromüberschüsse in Form von Wärme gespeichert werden und eine hohe Netzverträglichkeit erzielt wird. Mit diesem Verfahren kann eine Lastverschiebung im Tagesverlauf erreicht werden, die dadurch Spitzenlasten im Wärme- und Stromverbrauch vermeidet.

Das gesamte System der Wärmepumpen wird durch „Energiesammlung“ mittels ca. 1.000 m<sup>2</sup> auf dem Dach liegenden Rohrbündelabsorbern mit Energie versorgt. Da es hier jedoch im Winterbereich Defizite gibt, wurde zum Ausgleich ein Eisspeicher mit ca. 1.250 m<sup>3</sup> Wasserinhalt konzipiert. Dieser Wasser-Eisspeicher hat den großen Vorteil, dass über seine Wärmetauscherfläche für die WP ca. 350 kW Leistung abgerufen werden kann. Gleichzeitig kann die an den Außenwänden des Speichers befindliche Wärmetauscherfläche zum Beladen des Eisspeichers Energie einladen, die evtl. eine geringe Leistung von z. B. nur 15 kW hat, dafür jedoch kontinuierlich belädt. Dadurch kann dieser Eisspeicher einerseits das jahreszeitliche Defizit ausgleichen und andererseits in der kalten Jahreszeit auch aus niederen Umgebungstemperaturen über die große Fläche der Rohrbündelabsorber Energie „einsammeln“.

Die Konzeption sah vor, dass eine „Primär-Wärmepumpe“ aus dem Eisspeicher Energie auf ca. 20°-25°C Wasser-Temperatur „verdichtet“. Diese Temperatur sollte in einem Netz zu den „Sekundär-WP“ geführt werden, die wiederum jeweils für die einzelnen Nutzungsbereiche auf die Zieltemperatur des Verbraucherbereiches die Temperatur anhebt. Mit diesem System sollte erreicht werden, dass jeweils direkt an der Verbraucherstelle auf kurzem Wege die individuelle Zieltemperatur mit möglichst niedrigem Temperaturhub bereitgestellt werden kann und das Leitungsnetz mit den 20-25°C Temperatur möglichst wenig gedämmt werden muss und keine Leitungsverluste aufweist. D. h. es werden mehrere individuelle WP dezentral angeordnet, die jeweils die geforderte Zieltemperatur individuell bereitstellen, aber auf eine gleichmäßige VL-Temperatur als Quelle zurückgreifen.

Der Vorteil der individuellen, dezentralen WP liegt darin, dass diese jeweils auf kurzem Wege ihren Versorgungsbereich bedienen. Außerdem gibt es lediglich ein „Energietransportnetz“ als Quelle für die zweite Temperaturebene der Sekundär-Wärmepumpen.

Falls nun die Absorber eine ausreichende Wärmemenge mit ca. 20°C bereitstellen, wird in diesem Fall die Primär-WP nicht benötigt, da die Sekundär-WP direkt aus dem Absorberbereich versorgt werden können. Hier kommt hinzu, dass durch die Konstellation Schule, Sporthalle, Schwimmbad sehr unterschiedliche Heizbedarfe und Heizzeiten bestehen. D. h. im Winter haben alle Abnehmer einen Bedarf. In der warmen Jahreszeit lediglich das Schwimmbad und die Duschen im Sportbereich. Zu dieser Zeit wird der Eisspeicher überhaupt nicht benötigt und die Leistung der Rohrbündelabsorber ist völlig ausreichend, sodass zumindest im Herbst, der Eisspeicher mit den Überschüssen bedient werden kann.

Im Winter muss ab einem gewissen Zeitpunkt die Regeneration des Eisspeichers verhindert werden, da dieser bewusst vereisen soll. Das sich bildende Eis soll im Sommer im Schulbereich Kühlung ermöglichen, und sich dadurch einerseits regenerieren und andererseits den Betrieb von Kältemaschinen im Sommer vermeiden.

Da diese o. g. Konzeption sehr komplex ist (es gibt für den Winterfall noch zusätzlich ein Gas-BHKW, um Stromdefizite bei gleichzeitigem Wärmebedarf auszugleichen und zusätzlich 2 Spitzengaskessel) wurde vor Beginn der Planung eine Simulation erstellt. (siehe Seite 21 bis 33). Diese sollte den genauen Energiebedarf der einzelnen Verbraucher und deren Nutzungszeiten abbilden. Dies erfolgte sehr umfangreich und sprach eindeutige Empfehlungen für die Umsetzung aus.

Der Grund für die Simulation war auch gewesen, dass das planende Ingenieurbüro höhere Energiebedarfe errechnet hatte, als dies die Simulation ergeben hat. So wurde z. B. in einer ersten Berechnung ein Wärmebedarf von ca. 2.4 Mio. kWh für die Gesamtanlage errechnet; das Simulationsergebnis jedoch ergab lediglich 865.000 kWh Jahresbedarf, da in dieser Berechnung interne Gewinne Rückgewinnungseffekte von Abluft und Abwasser berücksichtigt wurden. Das zeigt, dass bei Verwendung konservativer Berechnungsmethoden ohne ausreichende Berücksichtigung des Niedrigenergiegebäudes und internen Gewinnen deutlich höhere Verbräuche errechnet werden können. Hier ist für die Zukunft zu beachten, dass bei besonders energiesparenden Bauweisen Simulationen notwendig sind.

Ein Hilfsmittel kann z. B. das PHPP-Berechnungsprogramm sein, welches ein Großteil von Simulationsergebnissen abdeckt.

Ein Hauptproblem ist, dass die Gesamtkonzeption und verschiedene Empfehlungen aus der Simulation nicht ausreichend durchgängig berücksichtigt wurden. So hat z. B. die Simulation einen Wärmebedarf mit 173 kW Spitzenlast für den Schulbereich errechnet. In den Ausführungsplänen wurde jedoch von einem Wert von 549 kW ausgegangen. Weiterhin könnten die eingebauten Versorgungsleitungen von der Heizzentrale zur Schule bei einer Spreizung von 20K mehr als 1.100 kW abdecken. In den Ausführungsplänen wurde außerdem festgelegt, dass gem. aktuelle EnEV die Wärmedämmung der Rohre 200 % betragen solle, was eigentlich bei Niedertemperatur in gedämmter Hülle nicht unbedingt notwendig ist.

In den einzelnen Schulräumen gibt es sowohl Einzellüftungsgeräte mit hoher WRG und einem Nachheizregister, welches an der Heizungsversorgungsleitung mit angeschlossen ist, als auch eine Deckenheizfläche. Diese kann auch für Kühlzwecke verwendet werden. In der Simulation wurde die ursprüngliche Vorgabe, dass diese Deckenheizfläche mit 45/25/20/-16°C betrieben wird aufgrund der Simulationsergebnisse auf 42/25°C korrigiert. In der Ausführung wurde jedoch eine Spreizung von lediglich 5K umgesetzt mit 34/29/20/-16°C. Dies führte zu bedeutend größeren aktiven Heizflächen, bedeutend größeren Rohrleitungsdimensionen mit allen sonstigen Nebeneffekten - u. a. zu entsprechend höheren Kosten. Weiterhin wurde beschlossen, dass die Heiz/Kühlflächen für den Heizfall dimensioniert werden und der Kühlfall ein gewollter Nebeneffekt ist, der jedoch zeitweise den Kühlbedarf nicht voll abdeckt.

Der 100 m<sup>3</sup> große Schichtspeicher als Puffer zur täglichen Lastverschiebung war in der Konzeption so vorgesehen, dass er von unten durch den Boden des Speichers angeschlossen wird und innerhalb des Speichers sich selbst physikalisch einschichtet und im Wesentlichen aus zwei Temperaturebenen, nämlich der höheren und der niederen besteht. Hier wurde nun ein Schichtspeicher derselben Größe, aber mit drei Temperaturebenen, die von außen über drei Rohrleitungspaaren angeschlossen werden, eingebaut. Dafür war ein unterirdisches Anschlussbauwerk in Beton notwendig.

Im Speicher ist jetzt ein Messsystem mit 30 Messpunkten eingebaut, die dann über eine entsprechende MSR -Technik Temperaturen erfassen und Ein- und Austräge regeln soll. Dies erfordert einen entsprechend sehr hohen Steuerungsaufwand. Hierbei ist zu beachten, dass so ein Schichtspeicher nicht als thermische Weiche verwendet werden soll, sondern von der Konzeption her möglichst kontinuierliche Ladevorgängen tagsüber bei Wärme und Stromüberschüssen haben soll und nachts bzw. frühmorgens Wärme abgibt, um in dieser Zeit keinen WP-Strom zu benötigen. Dies dient dazu, um die Eigenstromverwendung PV zu verstärken und die Netzstromentnahme zu reduzieren.

Im Bereich der WP-Technik sah das Konzept vor, dass es wie bereits erwähnt, eine „Grundwärmeebene“ von ca. 20°C geben soll, aus der dann die unterschiedlichen WP in den unterschiedlichen Bereichen ihre Quellenergie entnehmen. Diese Grundwärmeebene bekommt den Energieinhalt entweder direkt aus Absorbern, oder zum Teil aus Absorbern mit der Primär-WP auf die Temperaturebene angehoben oder aus dem Eisspeicher. Dadurch entsteht ein relativ einfaches Niedertemperaturnetz aus dem jeweils wiederum in kleinen bzw. überschaubaren Bereichen die Sekundär-WP den dortigen Bereich versorgt. D. h. die jeweils relativ kleinen Bereiche werden hauptsächlich vor Ort geregelt; falls einer dieser Kreise ausfällt, so ist u. U. dieser Bereich etwas kühler, aber alle anderen Bereiche besitzen die gewünschte Temperatur.

Zur Ausführung kommen jedoch 3 zentrale WP, die in sich 2 Verdichter haben und alle Temperaturebenen bis zu 65°C bedienen können. Diese 3 WP sind in der Zentrale aufgestellt, in Reihung mit dem BHKW und den beiden Spitzengaskesseln und sollen sowohl direkt, als auch in den Schichtspeicher ihre gewünschte Zieltemperatur in Form von Heizungswasser abgeben. Diese 3 WP können aus dem Eisspeicher, aber auch aus den Rohrbündelabsorbern ihre Grundenergie beziehen. Hier bestehen gewisse Bedenken, ob die recht aufwendige Hydraulik - nämlich 3 Temperaturebenen auf der Warmseite und 2 Quellanschlüsse nicht einen hohen Steuerungsaufwand, Messaufwand und Regelungsaufwand bedeutet, mit der Gefahr, dass der Schichtspeicher u. U. zu stark durchspült wird. Zurzeit werden die Rohrleitungen für die Anschlüsse aller Wärmezeuger im Heizraum installiert und zeigen bereits jetzt die hohe Kompliziertheit bis hin zu einer außerordentlichen Platzknappheit für die Rohre. Die Heizungsrohre werden in mehreren Ebenen übereinander installiert, was eine spätere Änderung oder Reparatur deutlich erschwert.

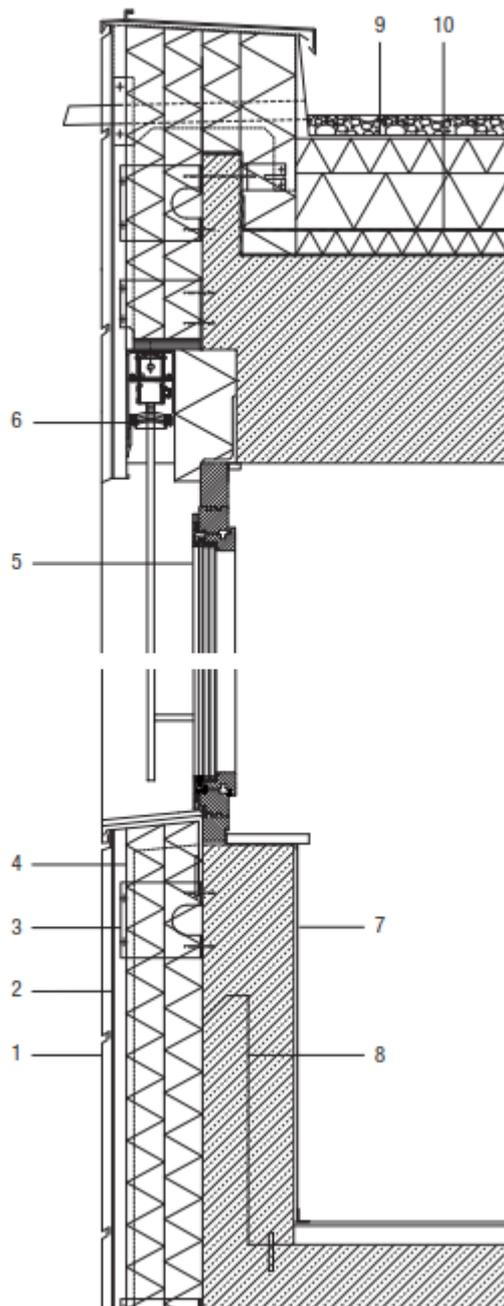
Derzeit gibt es noch keine Monitoringsergebnisse über die Kühlung des Schulgebäudes; der Eisspeicher ist zwar bereits seit 2015 fertig und gefüllt, aber das System Eisspeicher, Rohrbündelabsorber und WP ist noch nicht in Betrieb. Derzeit erfolgt die Beheizung (November 2016) durch die beiden Spitzenkessel, ergänzt durch ein sogenanntes Hotmobil von außerhalb.

In der Konzeption war vorgesehen, dass bereits während der Bauumsetzung Zug um Zug die einzelnen Bauabschnitte aus dem neuen Heizsystem versorgt werden und Zug um Zug die Direktheizung durch Kessel zurückgedrängt wird. Aufgrund dieser Konzeption war auch ein Begleitmonitoring während der Bauzeit vorgesehen, welches jedoch durch zu späte Lieferung von Monitoringsdaten, nicht Betrieb im NT-System, ohne Einbindung des Eisspeichers nicht die ursprünglichen Monitoringsergebnisse rechtzeitig nutzbar gemacht hat. D. h. ursprünglich war vorgesehen, dass durch das Begleitmonitoring Schwachstellen im System bzw. evtl. Überdimensionierungen in der Ausführung erkannt und korrigiert werden können. Diese Annahme war auf dezentrale WP aufgebaut und kann aufgrund des zentralen Heizsystems nicht umgesetzt werden. D. h. erst wenn die Heizzentrale komplett fertig ist, kann das gesamte System überprüft werden. Eine eventuell notwendige Korrektur in der Ausführung, z. B. im 3. BA, war dadurch nicht möglich. Ob tatsächlich eine Korrektur notwendig bzw. sinnvoll gewesen wäre, kann evtl. das folgende Monitoring nach Fertigstellung der Gesamtanlage aufzeigen.

Das gesamte Schulzentrum wird durch ein sehr aufwendiges GLT bzw. MSR-System insgesamt geregelt. D. h. Beleuchtung, Jalousiesteuerung, Lüftungsbeeinflussung bis hin zur Temperaturregelung der einzelnen Räume geschieht über eine Zentrale. Eine sehr hohe Anzahl von Messpunkten (ca. 15.000 St.) sind vorgesehen. Derzeit wird festgestellt, dass dieses überaus komplexe System hohe Anforderungen an die Installation, die Programmierung und die Nutzung stellt. Eine abschließende Bewertung ist derzeit nicht möglich, da der Aufbau noch nicht abgeschlossen ist. D. h. es gibt z. T. immer noch Probleme in einem Bauabschnitt, der bereits 3 Jahre in Gebrauch ist, da die Gesamtinstallation nicht abgeschlossen ist, was jedoch zum großen Teil auf die Probleme der beauftragten Firma zurückzuführen ist.

Zurzeit ist die Hälfte der PV-Anlage installiert. Dies sind ca. 200 kWp. Weiterhin wird derzeit bereits eine deutliche Einsparung sowohl im Gasverbrauch, als auch im zugekauften Strom festgestellt. Die Sanierung der überwiegenden Hüllflächen im Schulgebäude (von 6 BA sind 4 BA fertiggestellt), als auch im Bereich Sport (hier ist die Sporthalle inkl. Nebenräume seit Frühjahr 2016 in Betrieb und das Schwimmbad außer Betrieb) zeigen deutliche Heizenergieeinsparungen, aber auch im Sommer eine geringere Tendenz zur Überhitzung. Dies vor allen Dingen wegen der gesteuerten Verschattungsmöglichkeiten in Verbindung mit der erhöhten Wärmedämmung der Fassade. Die einzelnen Bauteile im Bereich Schule sind wie folgt gedämmt:

- U-Wert der Außenwände: 0,19W/m<sup>2</sup>K
- U-Wert der Fensterbänder: 0,80 W/m<sup>2</sup>K
- U-Wert der Dachflächen: 0,13 W/m<sup>2</sup>K
- U-Wert der Bodenplatte: 0,80 W/m<sup>2</sup>K



Fassadenschnitt Schulzentrum, M 1:20

- 1 Stahlpaneel, Stahlblech 1,25 mm, feuerverzinkt und polyesterbeschichtet
- 2 Tragprofil, Stahlblech 1,5 mm, AZ-beschichtet, abgekröpft zur Aufnahme der Fensterbank
- 3 Wandkonsole, Stahlblech 3,0 mm, verzinkt und pulverbeschichtet
- 4 Dämmung, Mineralwolle 2x 100 mm mit einseitiger schwarzer Vlieskaschierung
- 5 Holz-Aluminium-Fenster mit Dreifachverglasung
- 6 Lamellen-Raffstore, individuell verstellbar
- 7 Aufbetonierte Brüstung, in vorhandener Brüstung und Decke verankert
- 8 Bestehende Brüstung
- 9 Rollnahtgeschweißtes Edelstahldach auf Metall-dachtrennlage und Dämmung PUR 140 + 100 mm
- 10 Vorhandene Abdichtung und Dämmung 60 mm

Abbildung 34: Fassadenschnitt Schulzentrum - Quelle: AB Haase

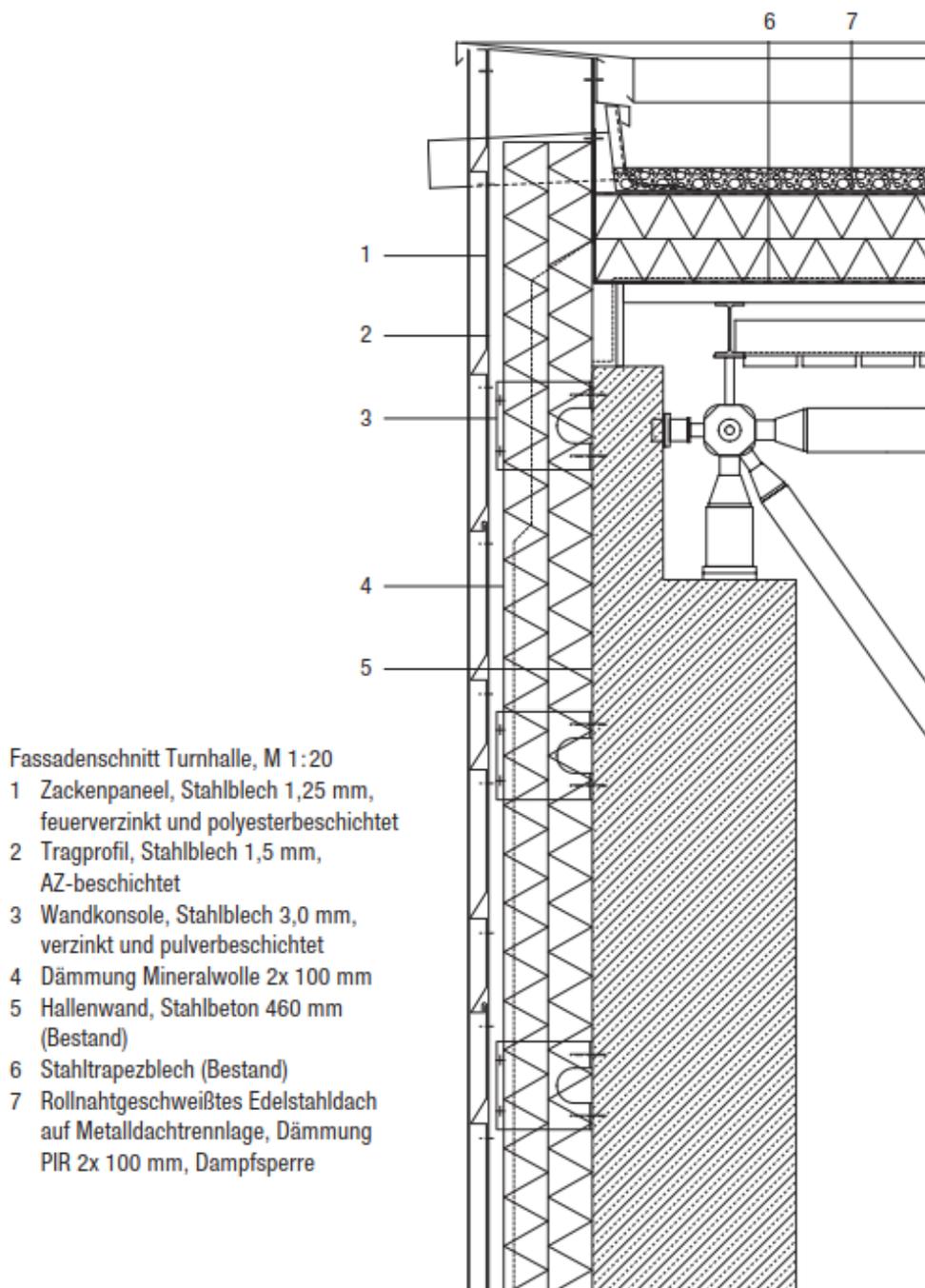


Abbildung 35: Fassadenschnitt Sporthalle - Quelle: AB Haase

## Technikkomponenten

### Wasser / Eisspeicher

Als Latentspeicher zum Ausgleich des Wärmedefizites im Winter aus der Umgebung und als „Sammler“ von Umweltenergie in Zeiten, in denen die Solareinstrahlung gering ist bzw. bei Regen oder Nebel schlecht nutzbar ist, ist ein Rundbehälter aus Stahlbeton errichtet worden, der zu 2/3 in der Erde versenkt ist und ansonsten mit Erde überschüttet wurde. Dieser Behälter hat ein Fassungsvermögen von 1.250 m<sup>3</sup> Wasser. In diesem Behälter befindet sich ein Wärmetauschersystem an den Außenwänden, über welches Energieeinträge stattfinden, die immer deutlich über 0°C warm sind. Im Inneren des Speichers befinden sich in größeren Abständen zueinander Entwärmungsrohre, die im Winterfall bis -10 bis -14°C VL-Temperatur erhalten und sich durch die Wassertemperatur entsprechend erwärmen. Das Prinzip ist, dass der Eisspeicher von innen beginnend vereist, aber immer eine sichere Wasserschicht zur Behälterwandung bestehen bleibt, damit der Behälter nicht durch die Sprengwirkung des Eises zerstört wird.

In diesem Vorgang wird der sogenannte Phasenwechsel von flüssigem Wasser zu Eis genutzt. Wie bekannt ist, enthält 1 m<sup>3</sup> Wasser pro 1° Unterschied ca. 1 kWh Energie, d.h. bei der Abkühlung von 80°C warmen Wasser auf 0°C (flüssig) sind in 1m<sup>3</sup> ca. 80 kWh Wärme enthalten. Die Besonderheit des Kristallisationsprozesses besteht darin, dass bei der Erstarrung des Wassers zu Eis von 0°C flüssig zu -1°C zu Eis erstarrt ebenso ca.80 kWh Energie enthalten ist bzw. zur Vereisung benötigt. Daher kann alleine durch den Phasenwechsel bei 1.250 m<sup>3</sup> eiskaltem Wasser eine Energiemenge von ca. 100.000 kWh wärmetechnisch verwendet werden. Ein weiterer Effekt ist, dass zur Regeneration des Eises dieses möglichst bis in die warme Jahreszeit erhalten bleibt und dann solange für Kühlzwecke verwendet wird, bis das Eis wieder seine Zustandsform in Wasser geändert hat und dadurch der Eisspeicher regeneriert wurde. Ein weiterer großer Vorteil besteht darin, dass im Winter der Eisspeicher z. B. teilweise vereist ist und das Wasser im Eisspeicher etwa 0°C oder +1°C warm ist und als Vorlauf für die ca. 1.000 m<sup>2</sup> große Fläche der Rohrbündelabsorber dient. Wenn nun im Winter frostfreie Tage sind, erwärmt sich diese Absorberfläche z. B. bei 8°C Umgebungstemperatur und Regen 24 Stunden lang. D. h. es wird niedertemperaturige Energie „eingesammelt“, die wiederum ein Teil des Eises auftaut, sodass der Phasenwechsel auch ein zweites Mal energetisch genutzt werden kann. Hier ist zu bedenken, dass die üblichen thermischen Kollektoren am besten im Sommer arbeiten, wenn sowieso Energieüberschuss da ist. Im Winter, wenn die Umweltwärme dringend benötigt wäre, können sie nur bei entsprechender Sonnenstrahlung tagsüber arbeiten. Für ein Niedertemperatursystem hat der Rohrbündelabsorber den Vorteil, dass er aus Umgebungsluft, Regenwasser aber auch Strahlung den Temperaturunterschied zum kalten Eisspeicher nutzt. Es ist durchaus möglich, dass hier lediglich 10 oder 30 kW Leistung eingesammelt werden; dafür jedoch bis zu 24 Stunden am Tag. Gleichzeitig kann die WP bis zu 350 kW Wärme dem Eisspeicher entziehen, sodass eine Pufferung zwischen geringem dauerhaften Eintrag und eventuell kurzfristig hohem Austrag stattfindet.

Dieser Anwendungsfall ist bisher wenig erforscht bzw. in der Literatur sind keine verwertbaren aussagekräftigen Daten vorhanden.

Da es sich bei dem Schul- und Sportzentrum um eine Ganzjahresnutzung des Gesamtsystems handelt, ist es umso sinnvoller diese Absorberflächen umfänglich zu nutzen. D. h. bei entsprechendem solarem Angebot kann mit den Absorbern u. U. das

Beckenwasser direkt beheizt werden oder es benötigt nur einen geringen Hub, um die Absorberwärme für Badewasser oder auch Warmwasser nutzbar zu machen.



Abbildung 36: Bodenplatte des Eisspeichers - Quelle: AB Haase



Abbildung 37: Bauarbeiten der Wand des Eisspeichers - Quelle: AB Haase



Abbildung 38: "Innenleben" des Eisspeichers - Quelle: AB Haase



Abbildung 39: "Innenleben des Eisspeichers - Quelle: AB Haase

Die Rohrbündel-Absorber selbst bestehen aus einzelnen Elementen, die mehrere Wärmetauscherrohre aus Polypropylen umfassen. Die Gesamtanlage mit ca. 1.000 m<sup>2</sup> belegte Fläche enthält ca. 20 m<sup>3</sup> Wärmetauscherflüssigkeit. Es ist auch möglich, den Absorber bei Regen absichtlich zu vereisen, um dadurch den Phasenwechsel des Regenwassers zu nutzen. Der Regelfall wird jedoch sein, dass die Absorber im Plusbereich arbeiten.



Abbildung 40: Rohrbündel-Absorber - Quelle: AB Haase

## Lüftungsanlagen

Im Schulbereich haben die an Außenflächen liegende Klassenräume jeweils Einzellüftungsgeräte mit einer Wärmerückgewinnungsrate von mehr als 80% als Deckengeräte. Sie haben einen direkten Außenwandanschluss für die Zu- und Abluft. Sowohl Gerät, als auch die Rohrleitungen sind durch Gipskartonplatten gekapselt; dadurch sind die Lüftungsgeräte weitgehend geräuscharm bis nicht hörbar. Die einzelnen Geräte können bis zu 850 m<sup>3</sup>/h Luft fördern. Im Betrieb wird jedoch hauptsächlich mit ca. 600 m<sup>3</sup>/h gelüftet, um den Geräuschpegel möglichst niedrig zu halten und mit geringem Stromaufwand das Gerät zu betreiben. Die Geräte besitzen ein hydraulisches Nachheizregister, um bei der morgendlichen Spüllüftung den Raum nicht zu unterkühlen. Weiterhin haben die Geräte einen Sommerbypass, damit im Sommer nicht durch WRG die Raumtemperatur in die Höhe getrieben wird. Dieser Sommerbypass ermöglicht auch eine effektive Nachtkühlung.

Die Einzellüftungsgeräte haben jeweils eine umfassende eigene Steuerung und Programmierung. Im Projekt Lohr sind sie jedoch zusätzlich durch eine übergeordnete MSR-Technik gesteuert, wodurch es anfangs immer wieder zu Betriebsstörungen kam.

Für innenliegende Räume sowie die Aula und Mensa gibt es zentrale Lüftungsgeräte mit entsprechenden Zu- und Ableitungen. Auch diese Lüftungsgeräte besitzen einen Rückgewinnungsgrad von mehr als ca. 80%. Leider liegen bis heute keine exakt vermessene Verbrauchswerte vor. Es fehlen außerdem Monitoringsergebnisse in diesem Bereich, die Aussage geben über den Temperaturverlauf, den Stromverbrauch und die Raumluftqualität in den Musterräumen.

Bis jetzt erfolgt keine mechanische Kühlung; es liegen somit auch noch keine Messergebnisse vor.



Abbildung 41: Fassadenansicht mit farbigen Elementen für Lüftungsgitter - Quelle: AB Haase



Abbildung 42: Einzellüftungsgerät mit Zu- und Abluftkanal - Quelle: AB Haase

## PV-Anlage

Auf dem Dach des Schulgebäudes wurden bisher 200 kWp PV in Ost / Westausrichtung installiert.

Dadurch, dass jeweils beide Seiten des PV-Gestelles belegt sind, findet die Verschattung wie bei Südausrichtung nicht in dem hohen Umfang statt, sodass die Dachfläche enger belegt werden kann. Zwar haben die Module durch die Ost / West-Ausrichtung etwas weniger Ertrag, dies wird jedoch dadurch ausgeglichen, dass früh eher und nachmittags länger PV-Strom produziert wird und die geringeren Montagekosten die Mehrmenge an Modulen z. T. ausgleichen.

Durch die flache Neigung der Module muss kein zusätzlicher Ballast aufgebracht werden, der ansonsten statische Probleme verursachen würde.

Es wird auch eine bessere Netzverträglichkeit erreicht, da viele Südanlagen zur selben Zeit eine Stromspitze erzeugen. Aufgrund der niedrigen Einspeisevergütung ist ein möglichst hoher PV-Strom-Eigenverbrauch anzustreben.



Abbildung 43: PV-Module Ost / West Ausrichtung - Quelle: AB Haase

## **Abwasser-Wärmetauscher**

Das gesamte Schulzentrum mit Bad, Sporthalle und Sauna verbrauchte bisher mehr als 8.000 cbm Wasser/a. Hier kommt in Zukunft das Abwasser des Lehrschwimmbeckens dazu.

Da zum großen Teil alte Grundleitungen weiterverwendet werden, soll am Zusammenfluss aller Grundleitungen inkl. neu angebautem Lehrschwimmbecken bei Bedarf das gesamte Abwasser auf ca. 2-4°C entwärmt werden. Gemäß der Simulationsberechnung ist ein Potential von rechnerisch 125.000 kWh/a nutzbar. Vor allem in der kalten Jahreszeit ist diese Wärmequelle als Rückgewinnung aus dem Abwasser wichtig. In der warmen Jahreszeit bietet sich eher die Absorberfläche an.

Im Konzept war vorgesehen, dass der Wärmegewinn aus dem Abwasser mit einer WP vor Ort auf kurzem Weg das Beckenwasser bewärmt, sodass nur das Defizit aus der Zentrale gedeckt werden muss. Im Idealfall könnte das Beckenwasser abends 1K überwärmt sein, damit in der Nacht kein Energieverbrauch zur Beckenwassererwärmung nötig ist.

In der Umsetzung ist vorgesehen, über einen Entnahmeschacht das Kanalwasser zu entnehmen. Hierbei werden evtl. feste Stoffe soweit zerkleinert, dass eine Emulsion entsteht. Diese wird in die Wärmetauscher im UG des Beckenumgangs gepumpt und fließt dort durch Plattenwärmetauscher System Fercher.

Die WP steht gem. jetziger Planung in der Heizzentrale neben den anderen zentralen WP und soll den Wärmegewinn über den Schichtspeicher der Verwendung zuführen. Dies wurde mit einer flexibleren Wärmenutzung von den Planern begründet. Im Konzept war vorgesehen gewesen, dass die aus dem Abwasser gewonnene Wärme auf möglichst kurzem Wege direkt nur dem Beckenwasser zugeführt wird. Dadurch sollte eine Vereinfachung der Hydraulik und der Steuerung erreicht werden. Weiterhin wäre durch die geringe Spreizung nach Aussage der Begleitforschung ein sehr hoher Wirkungsgrad der WP erreicht worden. Allerdings hätte nur das Beckenwasser davon profitiert.

Anfang 2017 soll der Abwasser-Wärmetauscher eingebaut werden.

## **Wärmepumpen**

Zum Einsatz kommen 3 WP, mit jeweils 70 kW bzw. 107 kW Heizleistung, modulierend; die Wärmepumpen sollen als Zieltemperatur zw. 40°C und max. 60°C erzeugen. Die WP sind jeweils an einem Vorlauf mit Niedertemperatur und einem Vorlauf mit Mitteltemperatur angeschlossen. Die WP selbst haben jeweils 2 Verdichter. Eine 4. WP für die Abwasser-Wärmerückgewinnung ist für Mittel- und Hochtemperatur von 45°C bzw. 65°C mit einer Heizleistung von 36 bzw. 33 kW vorgesehen. Diese 4 WP sind nebeneinander in der Heizzentrale angeordnet.

## **BHKW**

Ein BHKW mit einer elektrischen Leistung von 28 kW und einer Heizleistung von 50 kW wird so betrieben, dass es nur dann läuft, wenn sowohl Strom und Wärme gleichzeitig benötigt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass es dann nicht läuft, wenn die Wärme auch anderweitig, ausgenommen Kessel, ausreichend bereitgestellt wird.

## **Gasbrennwertkessel**

2 Gasbrennwertkessel mit jeweils 175 kW fungieren als Spitzenlastkessel im Hochtemperaturbereich und können gleichzeitig als Redundanz angesehen werden.

## **Diskussion der Ergebnisse**

Das Schul- und Sportzentrum Lohr besteht aus weitläufigen Gebäudegruppen, die in Zukunft zentral aus dem Keller der Sportgebäude mit Wärme versorgt werden. Ein Großteil der verwendeten Endenergie wird vor Ort gewonnen und ist somit als eine dezentrale Energiegewinnung zu bezeichnen. Dies entspricht dem Thema der Energiewende, dass möglichst vor Ort gewonnene Energie eingebunden wird, fossile Energien weitgehend vermieden werden und ein hocheffizienter Umgang mit Energie angestrebt wird.

Dadurch, dass 3 unterschiedliche Gebäude mit unterschiedlichen Temperaturebenen gemeinsam betrieben werden, können Synergieeffekte genutzt werden. Das Projekt Lohr zeigt, dass durch diese eine Maßnahme die Umweltentlastung in etwa der Sanierung von 350 EFH entspricht.

Leider gibt es noch keine Praxisergebnisse aus dem Bereich der neuen Wärmeerzeugung, der Einbindung des Eisspeichers und des Schichtspeichers sowie der Rohrbündel-Absorber. Diese Ergebnisse werden erst mit dem folgenden Monitoringsabschnitt voraussichtlich in 2019 dargestellt werden. Dies ist einerseits dem sehr großen Bauumfang von fast 50 Mio. € Bausumme geschuldet, andererseits dem Umstand, dass nach sehr umfänglichen Diskussionen nicht das dezentrale, sondern das zentrale Heizsystem umgesetzt wurde.

## **Verbreitung der Vorhabensergebnisse**

Es konnte bereits durch Berichte in der örtlichen Presse, aber auch in der Fachpresse ausführlich über das Pilotobjekt informiert werden. Auf nationaler Ebene wird bei Netzwerktreffen EnEff-Schule berichtet. Es wurde in der Woche der Umwelt 2016 das SSZ Lohr präsentiert. Für die Baumesse München im Januar 2017 ist ein Vortrag vorbereitet, in dem über das SSZ Lohr, aber auch zukünftig geplanten Plusenergieschulen berichtet wird.

## 2.4 Fazit

Eine integrale Planung ist bei einer solch komplexen Anlage besonders notwendig. Im Bauvorhaben Lohr gab es durch ein vorgeschaltetes VOF-Verfahren die entsprechenden Planungsvergaben. Dies führte zu einem Auftrag Architekturplanung und zu einem Auftrag für die haustechnischen Anlagen, die alle an dasselbe Büro REA-Reinhart, Engert, Albert Beratende Ingenieure GmbH vergeben wurden. Beide Büros sind für ihren eigenen Bereich verantwortlich. Bei einem derartigen Pilotobjekt sind jedoch hohe Koordinationsaufgaben zur Gesamtabstimmung notwendig. Es ist wichtig, dass vor der Ausschreibung der Gewerke die gesamte Werkplanung weitgehend fertig gestellt und mit allen beteiligten Büros abgestimmt ist.

Vorteilhaft wäre z. B. dass die Planer ein gesamtverantwortliches Konsortium bilden, welches von einem Konsortialsprecher geleitet wird, der den Gesamtüberblick über alle Planungsbereiche hat und die Konzeptumsetzung, die Einhaltung aller Förderbedingungen gewährleistet und den Bauherrn ganzheitlich berät und treuhänderisch zur Seite steht. Hiermit würde die Funktion eines Generalplaners erreicht und das Konsortium könnte eine Konsortialversicherung für das Gesamtprojekt abschließen, um eventuelle Ansprüche rechtlich zu vereinfachen. Wichtig ist hierbei, dass alle beteiligten Planer bereits ausreichend Erfahrung im Umgang mit passivhausähnlichen Gebäuden im Niedrigtemperaturbereich besitzen bzw. bereits Nullenergiehäuser oder Plusenergiehäuser geplant haben.

Es wäre auch möglich eine „energetische Projektsteuerung“ einzuschalten, die die Planungsprozesse und die Ziele aller Beteiligten aufeinander abstimmt und dafür sorgt, dass recht bald ein Gesamtkonzept im Vorentwurf entsteht und die darauf folgende Planung sich auf diesem Gesamtkonzept kontinuierlich aufbaut.

Weiterhin ist es notwendig, dass der Bestand auch von den Sonderingenieurbüros umfassend in die Planung einbezogen wird. Es sollten vorhandene Versorgungsstrassen, Durchbrüche und Aussparungen weitgehend berücksichtigt werden. Ebenso sollten die Werkpläne weitgehend fertiggestellt und abgestimmt sein, bevor die Ausschreibungsunterlagen erstellt werden. Auf jeden Fall sollte eine baubegleitende Planung vermieden werden, da dadurch sehr viele Entscheidungen nicht mehr frei getroffen werden können und der Gesamtüberblick über Wechselbeziehungen weitgehend verloren geht.

Simulationen sind bei solchen komplexen Systemen hauptsächlich im Bereich der Energiebereitstellung, der Pufferung und des Zusammenspiels der einzelnen Komponenten notwendig. Der Bedarf und die Probleme eines Passivhaus-Klassenzimmers sind mittlerweile ausführlich in der Literatur beschrieben. Weiterhin ist das Zusammenspiel Eigenstromproduktion durch PV mit möglichst hohem Eigenstromverbrauch mit der Planung der Heizung und des Energiemanagements übergreifend abzustimmen. D. h. verschiedene Sonderfachleute mit speziellem Fachwissen müssen in eine Gesamtbetrachtung überführt werden. Interessant hierbei ist, dass die einzelnen Komponenten wie WP, BHKW oder Absorber nicht als Konkurrenten gesehen werden, sondern als Gesamtsystem, welches sich ergänzt.

Es sollte weiterhin vereinbart werden, dass Simulationen verbindliche Planungsgrundlagen werden und für die Auslegung der Gesamtanlage maßgeblich sind. Sicherheitszuschläge in der Größenordnung konventioneller Heizungssysteme sind bei Niedrigenergiegebäuden möglichst gering zu halten, da das Gebäude eigentlich die größte Sicherheit darstellt. Ein passivhausähnliches Gebäude unterschreitet auch ohne Heizung im Winter  $+16^{\circ}\text{C}$  in den wenigsten Fällen.

Bereits in der Entwurfsphase muss das gesamte System konzipiert und durchgeplant sein. D. h. alle Wärmeabnehmer müssen als Verbraucher berechnet und in einer Jahres-Verbrauchstabelle erfasst sein. Weiterhin ist bereits bei der Vorplanung eine Funktionsbeschreibung für alle Bereiche für die 4 Jahreszeiten und für den Tag / Nacht und Wochenendfall verbal zu erstellen. Hier müssen die Besonderheiten des Schulbetriebes, des Niedrigstenergiehauses, den Sport-, Bade- und Saunabetrieb berücksichtigt werden und in den Wechselbeziehungen zueinander und in Bezug auf die Jahreszeit herausgearbeitet werden. Dies wiederum abgestimmt auf die Möglichkeiten der Energiegewinnung aus den örtlichen Gegebenheiten. Je nach Örtlichkeit kann evtl. Grundwasser eingebunden oder Industrieabwärme nutzbar sein. Im Schul- und Sportzentrum Lohr wurde ein Weg gesucht, möglichst ohne Tiefsonden, Grundwassernutzung, aber auch ohne Biomassennutzung das energetische Problem mit weitgehendem Verzicht auf fossile Energie, zu lösen. D. h. es wurde ein möglichst „direkter Weg zur solaren Nutzung“ in Verbindung mit Speichersystemen gezeigt. Diese Lösung kann für Großobjekte, die auch einen sommerlichen Kühlbedarf haben, richtig sein. Zum Zeitpunkt der Konzepterstellung waren die politischen Randbedingungen in Bezug auf PV-Stromverwendung noch so, dass ein Einspeisen wirtschaftlicher als ein möglichst hoher Eigenverbrauch des Stromes war.

Es sollten daher kurzfristige Randbedingungen bei einem so langfristig angelegten Objekt weniger Beachtung finden, sondern eine physikalische Lösung gesucht werden, die den Gebrauch von möglichst viel kostenloser Solarenergie nutzt.

Es zeigt sich jedoch auch bereits zum jetzigen Zeitpunkt, dass die Nutzer der Gebäude, nämlich Schüler, Lehrkräfte, Mitarbeiter des Zweckverbandes und natürlich die zahlreichen öffentlichen Besucher (Teilnehmer an Kursen der Volkshochschule, Besucher der Sportstätten etc.) ein anderes Nutzerverhalten haben, als Simulationsberechnungen oder innovative Energiekonzepte vorgeben. Diesen „Spagat zu schaffen“ und trotz allem ein „Behaglichkeitsgefühl für die Nutzer“ des Gebäudes zu bekommen, ist eine nicht zu unterschätzende Aufgabe für die Planer und den Bauherrn.

Zurzeit befinden sich die Planungsziele in einem Umbruch - der Energiewende. So gibt es mittlerweile das NAPE (Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz) sowie die politische Vereinbarung, alle Gebäude die nach 2020 errichtet werden CO<sub>2</sub>-frei zu errichten. Hierbei soll die öffentliche Hand bereits vorher vorbildliche Objekte umsetzen. Die Sanierung sollte möglichst die Anforderungen von Neubauten erreichen.

Die Versorgung eines Gebäudes mit Niedertemperatur, unter Einbeziehung von WP, Umweltwärmequellen, Eigenstrom aus PV erfordert eine andere Logik, als wenn Wärme zentral durch Hochtemperatur erzeugt wird. Es muss der Verlauf des Wärmebedarfs mit dem Verlauf des Umweltangebotes abgestimmt werden. Weiterhin ist die Trägheit eines passivhausähnlichen Gebäudes zu berücksichtigen. Langlebige Technik sollte nicht durch kurzlebige Computertechnik dominiert werden. Wichtig ist, den Endenergiebedarf deutlich durch Dämmung zu verringern, alle Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten nutzen sowie den Restenergiebedarf durch hocheffiziente Technik unter Einbeziehung von Umweltenergie zu decken.

Das Schul- und Sportzentrum Lohr wird wichtige Komponenten bei der zukünftigen Vermessung im Monitoring erproben können. So z. B. das Zusammenspiel Rohrbündel-Absorber, Eisspeicher, verschiedene Wärmepumpen und Lastverschiebungen. Es werden hoffentlich verwertbare Daten für den Betrieb der Rohrbündel-Absorber im Winter zum Heizen, aber auch im Sommer zur nächtlichen Auskühlung der Gebäude gesammelt werden. Da die MSR-Technik sehr umfangreich ist und als Ziel hat „selbstlernende“ Steuerkomponenten einzusetzen, bleibt abzuwarten, ob diese Technik die in sie gesetzten Hoffnungen erfüllt.



Abbildung 44: Neue Mensa - Quelle: AB Haase



Abbildung 45: Sporthalle saniert - Quelle: AB Haase

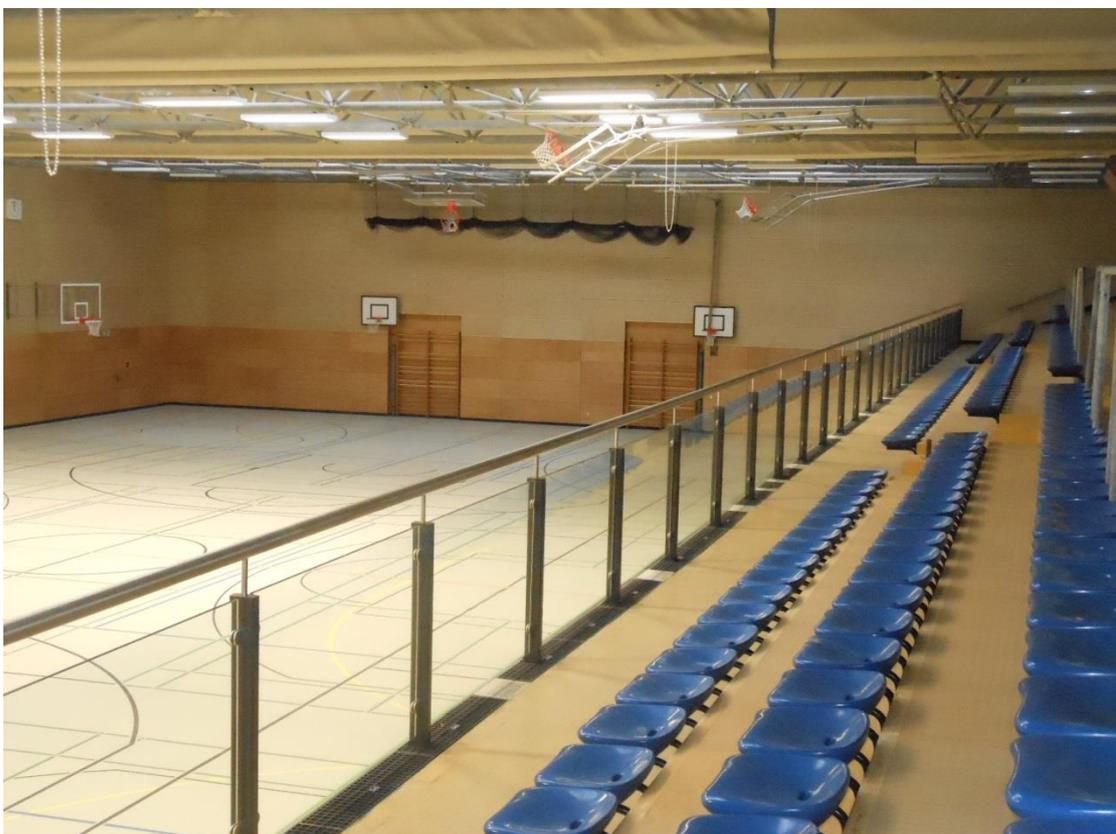


Abbildung 46: Sporthalle saniert mit Tribüne - Quelle: AB Haase



Abbildung 47: Sporthallen-Foyer saniert - Quelle: AB Haase



Abbildung 48: Sporthalle Fassade - Quelle: AB Haase



Abbildung 49: Fassade saniert - Quelle: Thyssenkrupp



Abbildung 50: Fassade saniert - Quelle: Thyssenkrupp



Abbildung 51: Fassade saniert - Quelle: Thyssenkrupp