

Abschlussbericht  
zum Projekt

# Leitfaden für kommunale Fachabteilungen zur hydraulischen Optimierung von Heizungsanlagen

Auftraggeber: Stadt Lörrach, Stadt Weil am Rhein



Gefördert durch den

Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz  
der badenova AG&Co.KG



Projektnummer badenova: 2006-11  
Zuwendungsempfänger: Stadt Lörrach

Auftragnehmer und Bearbeitung:

**econzept** Energieplanung GmbH  
Wiesentalstraße 29  
79115 Freiburg i. Br.  
Tel. 0761/401 66-27



Dipl.-Ing. M.BP. Martin Schellbach  
Dipl.-Ing. Frank Wiedemann

Freiburg / Lörrach, März 2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Projektidee.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Die Projektpartner und ihre Aufgaben .....</b>	<b>4</b>
	2.1 Städte Lörrach und Weil am Rhein.....	4
	2.2 econzept Energieplanung GmbH .....	4
	2.3 Innovationsfonds Klima- u. Wasserschutz der badenova AG & Co. KG .....	4
	2.4 Projektunterstützer .....	5
<b>3</b>	<b>Projektvorbereitung .....</b>	<b>5</b>
	3.1 Grundlagenermittlung.....	5
	3.2 Auswahl geeigneter Planungshilfsmittel .....	5
<b>4</b>	<b>Der Leitfaden .....</b>	<b>6</b>
	4.1 Was bietet der Leitfaden? .....	6
	Systematik des Leitfadens.....	7
<b>5</b>	<b>Vorbereitende Arbeiten .....</b>	<b>9</b>
	5.1 Gebäudeübersicht .....	9
	5.2 Bewertung Wärmeverteilung .....	9
<b>6</b>	<b>Planung hydraulischer Abgleich .....</b>	<b>11</b>
	6.1 Unterlagen .....	11
	6.2 Heizlast.....	11
	6.3 Heizflächen.....	12
	6.4 Rohrnetz .....	12
	6.5 Systemauslegung.....	13
	6.6 Ventilauslegung.....	14
	6.7 Pumpenauslegung.....	14
<b>7</b>	<b>Durchführung Hydraulischer Abgleich .....</b>	<b>15</b>
	7.1 Ausgewählte Maßnahmen.....	15
	7.2 Ausschreibung von Leistungen .....	15
	7.3 Durchführung von Installations- und Einstellarbeiten .....	16
	7.4 Optimierungsmaßnahmen im Betrieb.....	16
	7.5 Abstimmung mit den Hausmeistern und Nutzern .....	17
<b>8</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>17</b>
	8.1 Nutzerzufriedenheit .....	17
	8.2 Wärmeverteilung .....	17
	8.3 Volumenströme .....	17
	8.4 Temperaturspreizung .....	18
	8.5 Pumpenbetrieb .....	18
	8.6 BOA-Systronic-System.....	19
	8.7 Wärmeerzeugung.....	19
	8.8 Bewertung Energieeinsparungen .....	19
<b>9</b>	<b>Sonstiges.....</b>	<b>20</b>
<b>10</b>	<b>Der Leitfaden im Internet.....</b>	<b>20</b>
<b>11</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>20</b>
<b>12</b>	<b>Anlagen.....</b>	<b>21</b>

## 1 AUSGANGSLAGE UND PROJEKTIDEE

In den meisten kommunalen Gebäuden werden Heizungsanlagen ohne hydraulische Optimierung der Heizungsnetze betrieben. Häufig sind dabei die nachfolgenden Mängel anzutreffen:

- ungleichmäßige Wärmeabgabe in den einzelnen Räumen
- Geräuschprobleme
- geringe Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf
- hohe Systemtemperaturen
- regelungstechnische Probleme
- messtechnische Probleme

Weitere Folgen eines nicht abgeglichenen Heizungssystems sind überdimensionierte Pumpen, ein unnötig hoher Stromverbrauch von Heizungspumpen und ein unnötiger Wärmeverbrauch durch übermäßige Beheizung von hydraulisch übervorteilten Räumen. Zusätzlich wird beim Defekt von Heizungspumpen in der Regel die gleiche (meist überdimensionierte) Pumpe wie vorher eingebaut. Damit werden Abstimmungen auf die aktuellen hydraulischen Anforderungen des Heizungsnetzes und technische Weiterentwicklungen ignoriert und mögliche Einspargelegenheiten verpasst.

Ursache für diese Situation ist neben der häufig anzutreffenden Unkenntnis bei den kommunalen Fachämtern über die Wichtigkeit einer hydraulischen Optimierung von Heizungsnetzen eine fehlende Systematik bzw. eine im kommunalen Bereich anwendbare Vorgehensweise zur hydraulischen Optimierung von Heizungsnetzen.

Darüber hinaus führen allein die aufwendigen Berechnungen eines Fachplaners für einen hydraulischen Abgleich im Gebäudebestand mit den am Markt verfügbaren professionellen Software-Produkten zu ungünstigen Preis-/Leistungsverhältnissen. Besonders in kommunalen Gebäuden mit weit verzweigten Heizungsnetzen wird daher nur selten ein hydraulischer Abgleich durchgeführt und so ein nicht unerhebliches Einsparpotenzial bei Strom und Wärme verschwendet. Der aus der fehlenden Optimierung resultierende unnötige Energieverbrauch bleibt zudem über Jahrzehnte bestehen.

Da für die hydraulische Optimierung von Heizungsnetzen in den meisten öffentlichen Gebäuden ähnliche Randbedingungen bestehen, kann eine standardisierte Vorgehensweise die Durchführung in der Praxis finanziell und organisatorisch deutlich erleichtern. Ein standardisiertes Verfahren bzw. Vorgehensweise bei der Untersuchung, Bewertung und Ausschreibung des hydraulischen Abgleichs könnte es den Kommunen zudem erleichtern, die bestehenden Einsparpotenziale besser zu bewerten und ggf. zu erschließen.

Daraus entstand die Projektidee, einen Leitfaden für die hydraulische Optimierung von Heizungsnetzen im kommunalen Gebäudebestand zu erstellen. Der Leitfaden sollte an zwei Praxisbeispielen in Lörrach und Weil am Rhein, die nach der Systematik des Leitfadens durchgeführt werden, erprobt werden.

Der Leitfaden sollte folgende Kriterien erfüllen:

- Die zuständigen Personen in kommunalen Fachämtern sollen in die Lage versetzt werden, die Notwendigkeit für eine hydraulische Optimierung rechtzeitig zu erkennen und ein Optimierungsverfahren einzuleiten (pädagogisches Ziel).
- Aufzeigen einer systematischen und im kommunalen Bereich anwendbaren Vorgehensweise zur hydraulischen Optimierung von Heizungsnetzen.
- Erstellung einer Software für die Berechnung der Werte zur hydraulischen Einregulierung oder Empfehlung von bereits vorhandenen Softwareprodukten, die in den Fachämtern der Kommunen eingesetzt werden können.
- Bereitstellung von Ausschreibungstexten.
- Bereitstellung von Checklisten.

## **2 DIE PROJEKTPARTNER UND IHRE AUFGABEN**

### **2.1 Städte Lörrach und Weil am Rhein**

Die Städte Lörrach und Weil am Rhein bemühen sich seit Jahren den Energieverbrauch in den öffentlichen Gebäuden zu reduzieren. 2006 entschieden die beiden Städte sich auch dem Thema „hydraulischer Abgleich“ anzunehmen. Zielsetzung war dabei, ein einfaches Verfahren zu entwickeln, das auch von kommunalem Fachpersonal, gegebenenfalls mit Unterstützung externer Fachleute, angewendet werden kann und bei geringen Kosten zu spürbaren Verbesserungen der hydraulischen Situation in Heizungsnetzen kommunaler Liegenschaften führt. Es sollte dazu ein Leitfaden und zur Arbeitserleichterung ein unterstützendes EDV-Tool erstellt werden, mit denen kommunale Fachabteilungen in die Lage versetzt werden, einen hydraulischen Abgleich in öffentlichen Liegenschaften selbst durchzuführen oder sachgerecht zu begleiten. Das Projekt wurde vom Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova finanziell gefördert.

### **2.2 econzept Energieplanung GmbH**

econzept ist ein Ingenieurbüro, das sich insbesondere auf die rationelle Energieverwendung spezialisiert hat. In der econzept Energieplanung GmbH haben sich Fachingenieure aus den wichtigsten Bereichen der Energietechnik zusammengeschlossen, um Auftraggebern ein fachübergreifendes Dienstleistungsprogramm anbieten zu können. Die fachübergreifende Zusammenarbeit der Mitarbeiter ermöglicht die Ausarbeitung von Gesamtenergiekonzepten von der Bauphysik bis zu energietechnischen Anlagen (Heizung, Lüftung, Klima usw.). Auf die Umsetzbarkeit der Konzepte wird besonderer Wert gelegt, weshalb auch die Ausführungsplanung und Bauüberwachung zum Leistungsangebot gehören. Langjährige Erfahrung und die enge Zusammenarbeit der Ingenieure gewährleisten eine effektive Abstimmung der am Projekt beteiligten Personen.

Die econzept Energieplanung GmbH wurde von den Städten Lörrach und Weil am Rhein damit beauftragt, den Leitfaden hydraulischer Abgleich für kommunale Fachabteilungen zu konzipieren und zu erstellen.

### **2.3 Innovationsfonds Klima- u. Wasserschutz der badenova AG & Co. KG**

Das Projekt zur Entwicklung und Erprobung des Leitfadens wurde vom Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova finanziell gefördert.

## 2.4 Projektunterstützer

Unterstützt wurde das Projekt u.a. von den nachfolgenden Fachfirmen

### Pumpenhersteller

- Biral, Herr Heimerdinger
- Grundfos, Herr Hessler
- KSB, Herr Benz
- Wilo, Herr Carius

### Ventilhersteller

- Danfoss, Herr Caciauna
- Heimeier, Herr Rath
- Taconova, Herr Throm
- Oventrop, Herr Stich

### Messwerverfassung

- Setpoint, Herr Gerstner
- testo AG, Herr Hoyer

### Wissenschaftlicher Fachaustausch

- FH Esslingen, Professor Rohrbach

## 3 PROJEKTVORBEREITUNG

### 3.1 Grundlagenermittlung

Um mögliche Anknüpfungspunkte an bestehende Projekte und Vorgehensweisen sicherzustellen, wurde beim Projektbeginn im Sommer 2006 zunächst eine allgemeine Internet-Recherche zum hydraulischen Abgleich durchgeführt.

Zudem wurden verschiedenste Fachfirmen angeschrieben, über das geplante Projekt informiert (siehe Anlage „Projektinformation“) und um Unterstützung gebeten. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass ein möglichst umfangreiches und breites Fachwissen bei der Erstellung des Leitfadens berücksichtigt wird.

### 3.2 Auswahl geeigneter Planungshilfsmittel

Um Handhabung und dauerhafte Unterstützung bei der Anwendung des Leitfadens gewährleisten zu können wurde zunächst nach am Markt erhältlichen und für die Aufgabe geeigneten Planungsmitteln gesucht.

Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei dem vom BMU geförderten Projekt und Auslegungstool Optimus gewidmet. Optimus wurde im Rahmen eines langjährigen Forschungsvorhabens zur Durchführung des hydraulischen Abgleichs in Ein- und Mehrfamilienhäusern entwickelt und validiert. Besonderheiten wie sie in öffentlichen Gebäuden häufig anzutreffen sind, können häufig nicht abgebildet bzw. eingegeben werden. Um etwaige Erweiterungsmöglichkeiten bewerten zu können, wurde der Firma econzept der Programmcode von Optimus zur Verfügung gestellt.

Ergänzend wurden von econzept verschiedene Softwareprodukte zur Berechnung des hydraulischen Abgleichs getestet und auf die Anwendbarkeit in bestehenden kommunalen Liegenschaften überprüft.

Die Recherche nach geeigneten Planungshilfsmitteln ergab:

- Optimus ist nicht für große und weitläufige Gebäude mit komplexen Verteilungssystemen geeignet, da individuelle Situationen nicht berücksichtigt werden können.
- Die am Markt zur Verfügung stehenden Programme zur Berechnung des hydraulischen Abgleichs basieren auf der Annahme, dass ausgehend von der Heizlast die Heizkörper, das Verteilnetz und die sonstigen Komponenten ausgelegt werden.
- Programme, die speziell darauf ausgerichtet sind, den hydraulischen Abgleich für Heizungsverteilsysteme mit bestehenden und teilweise „nicht optimalen“ Komponenten (Heizkörper, Verteilleitungen und sonstige Komponenten, Pumpen) durchzurechnen sind am Markt für komplexe Verteilungssysteme nicht erhältlich.
- Um ein strukturiertes, flexibles und nachvollziehbares Vorgehen beim hydraulischen Abgleich in größeren und komplexen Verteilungsnetzen sicherzustellen ist es sinnvoll, auf einfache Excel-Tabellen mit nachvollziehbaren Einzelschritten zurückzugreifen, da bei diesem Vorgehen der Anwender die Möglichkeit hat, die Excel-Tabellen der Vor-Ort-Situation individuell anzupassen

## 4 DER LEITFADEN

### 4.1 Was bietet der Leitfaden?

Mit dem Leitfaden sollen die zuständigen Personen in kommunalen Fachämtern in die Lage versetzt werden, die Notwendigkeit für eine hydraulische Optimierung des Heizungsnetzes in kommunalen Gebäuden rechtzeitig zu erkennen und ein Optimierungsverfahren einzuleiten.

Der Leitfaden ist im Wesentlichen eine Anleitung zur systematischen, schrittweisen Durchführung eines hydraulischen Abgleichs von bestehenden Heizungsnetzen. Wird der Leitfaden durchgängig genutzt, so erhält man sämtliche für einen hydraulischen Abgleich erforderliche Daten. Das mit dem Leitfaden entwickelte und zur Verfügung gestellte Excel-Tool ermöglicht eine einfache Abbildung des Heizungsnetzes, die Durchführung von Zwischenberechnungen und eine überschlägige Ermittlung der Einstellwerte für die einzelnen Komponenten des Heizungsnetzes. Am Ende des Leitfadens sind Ausschreibungstexte aufgeführt, mit denen die für die Optimierung erforderlichen Komponenten und Leistungen ausgeschrieben werden können. Die den einzelnen Schritten des Leitfadens zugeordneten Listen im Anhang können kopiert und als Checklisten verwendet werden.

Bei der Datenaufnahme und Berechnung im Gebäudebestand und bei der Anwendung des Leitfadens gibt es zahlreiche Besonderheiten, die dem Nutzer des Leitfadens bewusst sein sollten:

- Heizungsnetze werden im Laufe der Zeit oft verändert, wenn z.B. ein offenes Schwerekraftsystem zu einem geschlossenen System umgebaut wird, Heizkörper entfernt oder zugebaut werden oder Pumpen ersetzt werden. Die einzelnen Komponenten des Heizungsnetzes sind in diesen Fällen nicht optimal aufeinander abgestimmt.
- Handelsübliche Software für die Berechnungen zum hydraulischen Abgleich ist für nicht optimal ausgelegte, komplexe Heizungssysteme nicht am Markt erhältlich. Um ein strukturiertes, flexibles und nachvollziehbares Vorgehen beim hydraulischen Abgleich in größeren und komplexen Verteilungsnetzen sicherzustellen, wurde in dem erstellten

Leitfaden dem Einsatz einfacher Excel-Tabellen mit nachvollziehbaren Einzelschritten der Vorzug gegeben (Bezeichnung: LHO Phase A-J ... .xls). Eine sicherer Umgang mit Excel-Tabellen ist für die Anwendung des Leitfadens Voraussetzung.

- Der genaue Verlauf, die Länge und der Rohrdurchmesser von Heizungsleitungen können häufig nicht ermittelt werden und müssen teilweise geschätzt werden.
- Die für die Berechnung der Heizlast erforderlichen U-Werte der Gebäudehülle können meist nicht exakt ermittelt werden.
- Die Heizkörper-Leistungswerte können bei älteren Heizkörpern oft nur geschätzt werden.

Die Genauigkeit der Eingangsdaten kann bei entsprechendem Fachwissen und Erfahrungen des Nutzers zu deutlich besseren Werten führen. Umgekehrt sollten die Eingangsdaten so genau wie möglich ermittelt werden, da zu große Ungenauigkeiten am Ende ein gutes Ergebnis verhindern können. Es wird daher dringend empfohlen, bei fehlendem Fachwissen innerhalb der kommunalen Verwaltungen an den entsprechenden Stellen externe Fachleute einzubeziehen.

Es war die Zielsetzung bei der Erstellung des Leitfadens, dass auch komplexere Heizungsnetze mit dem Verfahren optimiert werden können. Es ist jedoch nicht sichergestellt, dass mit dem Verfahren alle in der Praxis vorkommenden Fälle abgebildet werden können. Das Excel-Tool ist in der zur Verfügung gestellten Fassung begrenzt auf eine festgelegte Anzahl von Feldern, kann aber vom Nutzer, entsprechende Kenntnisse vorausgesetzt, erweitert werden. Wo die genauen Einsatzgrenzen in der Praxis liegen, konnte bisher noch nicht getestet werden. Es wird daher empfohlen, das Verfahren zunächst in weniger komplexen Heizungsnetzen einzusetzen und sich mit steigender Erfahrung an komplexere Systeme anzunähern.

Beim Arbeiten mit dem Excel-Tool ist zu beachten, dass es keine hinterlegte Plausibilitätsprüfung gegen fehlerhafte Eingaben oder Formelfehler bei der Erweiterung der vorgegebenen Felder gibt. Eine entsprechend sorgfältige Kontrolle der Eingaben und Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse muss daher durch den Nutzer erfolgen.

Es wird zudem dringend empfohlen, die im Leitfaden aufgezeigte Abfolge konsequent einzuhalten und jeden Schritt vollständig abzuschließen. Spätere Änderungen verursachen einen erheblichen Zusatzaufwand in der Bearbeitung.

## **Systematik des Leitfadens**

Der Leitfaden gliedert sich in die Phasen A-L, die den drei Bereichen „Vorbereitende Arbeiten“, „Planung Hydraulischer Abgleich“ und „Durchführung Hydraulischer Abgleich“ wie folgt zugeordnet sind:

### 1) Vorbereitende Arbeiten

Phase A: Gebäudeübersicht

Phase B: Bewertung Wärmeverteilung

## 2) Planung Hydraulischer Abgleich

Phase C: Vorhandene Unterlagen

Phase D: Heizlast

Phase E: Heizflächen

Phase F: Rohrnetz

Phase G: Auslegung Wärmeabgabe

Phase H: Auslegung Pumpen

Phase I: Auslegung Ventile

## 3) Durchführung Hydraulischer Abgleich

Phase J: Ausschreibung

Phase K: Information, Kontrolle und Optimierung

Der Bereich „Vorbereitende Arbeiten“ dient dazu, einen Überblick über den Zustand und die Verbrauchssituation der Gebäude zu bekommen, damit der hydraulische Abgleich dort durchgeführt wird, wo es am erforderlichsten ist. Im Bereich „Planung Hydraulischer Abgleich“ werden sämtliche Daten ermittelt, die für die eigentliche Durchführung des hydraulischen Abgleichs erforderlich sind. Für die Durchführung des hydraulischen Abgleichs stellt der Leitfaden Ausschreibungstexte und wichtige Hinweise für Kontrolle und Optimierung zur Verfügung.

Die einzelnen Phasen werden in dem Leitfaden detailliert beschrieben. Dabei wird durchgehend folgende Systematik verwendet:

- Kurzübersicht über die jeweilige Phase
- Verweis auf die zugehörigen Checklisten im Anhang
- Verweis auf das zugehörige Datenblatt des Excel-Tools
- Beschreibung der Vorgehensweise
- Tipps zu der jeweiligen Bearbeitungsphase

Die Nutzung des Leitfadens und die Handhabung der Excel-Listen sind im Leitfaden ebenfalls detailliert beschrieben. Als Hilfestellung bei Unklarheiten steht ein separates Beispiel in den Excel-Listen mit Echtdateien zur Verfügung.

Obwohl der Leitfaden ein gut strukturiertes Hilfsmittel darstellt, kann er das für einen hydraulischen Abgleich notwendige Fachwissen und Erfahrungswerte nicht ersetzen. Es wird daher empfohlen, im Zweifel einen erfahrenen Ingenieur oder Techniker hinzuzuziehen.



## 5 VORBEREITENDE ARBEITEN

### 5.1 Gebäudeübersicht

Nach dem Projektstart musste zunächst festgelegt werden, in welchen kommunalen Gebäuden von Lörrach und Weil am Rhein bei der Wärmeverteilung Unzulänglichkeiten bestehen und ein hydraulische Abgleich im Rahmen des Projekts bevorzugt durchgeführt werden soll.

Um die in Betracht kommenden Gebäude besser auswählen zu können, wurde eine Übersichtstabelle von allen kommunalen Gebäuden erstellt. Mit Hilfe von objektspezifischen Informationen zu Gebäude, Energieverbrauch, Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeabgabe und geplanten Sanierungsmaßnahmen wurde eine Bewertung in Bezug auf die Sinnhaftigkeit eines hydraulischen Abgleichs bzw. eine Vorauswahl vorgenommen (siehe Excel-Tabelle „A.1 Gebäudebestand“ und Excel-Tabelle „A.2 Gebäudeauswahl“).

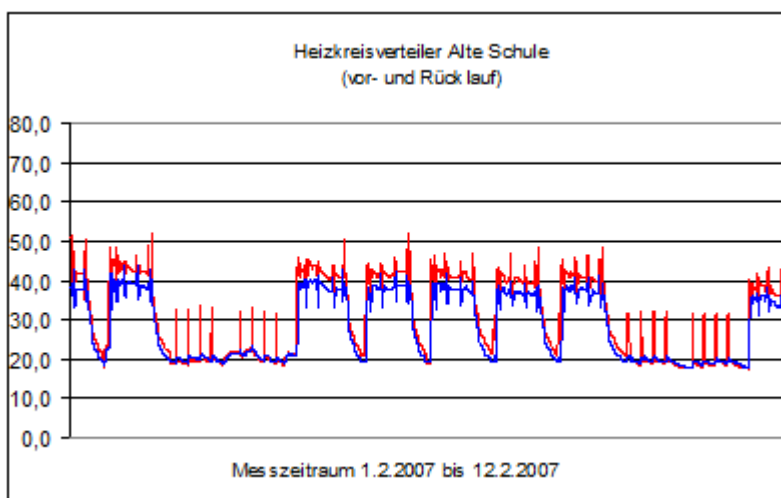
Im Rahmen der Vorauswahl wurden in Lörrach die Astrid Lindgren Schule und die Albert Schweitzer Schule als geeignete Objekte ausgewählt. In Weil am Rhein die Alte Schule und das Haus der Vereine.

<b>Phase A: Gebäudeübersicht</b>
Schritt A.1: Gebäudebestand
Schritt A.2: Gebäudeauswahl

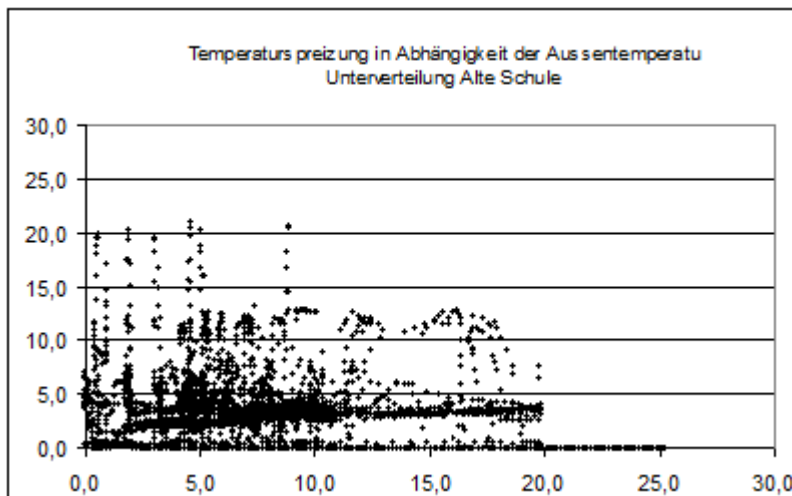
### 5.2 Bewertung Wärmeverteilung

Um die ausgewählten Objekte in Bezug auf die Wärmeverteilung bzw. die hydraulischen Verhältnisse besser einstufen zu können, wurden an den Hauptverteilern und den einzelnen Heizkreisen der Wärmeverteilung die Vor- und Rücklauftemperaturen über einen Zeitraum von 10 Tagen gemessen.

Hierzu wurden Datenlogger der testo AG mit externen Anlegefühlern verwendet. Das Messintervall betrug 2 Minuten.



Die gemessenen Daten wurden in Bezug auf die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur in Relation zur Außentemperatur nach einem von der Firma econzept konzipierten Auswerteverfahren bewertet.



Bei diesem Verfahren wird auf Basis der außentemperaturabhängigen Temperaturspreizungen sichtbar (siehe Übersicht B.1 „Temperaturspreizung am Hauptverteiler“), bei welchen Gebäuden ein hydraulischer Abgleich vorrangig durchgeführt werden sollte. Bei der Auswahl wurde auch berücksichtigt, ob bei Brennwertgeräten niedrige Rücklauftemperaturen anzutreffen sind und damit die Brennwertnutzung überhaupt möglich ist.

Da die Vor- und Rücklauftemperaturen durch ungünstige Effekte bei einzelnen Unterverteilern verursacht werden können, wurden bei 4 Gebäuden detailliertere Messungen mit 10 Messstellen pro Gebäude wiederholt.

Auf Grundlage dieser Messungen wurde entschieden, den hydraulischen Abgleich in der Astrid Lindgren Schule in Lörrach und in der Alten Schule in Weil am Rhein durchzuführen.

<b>Phase B: Bewertung Wärmeverteilung</b>
Schritt B.1: Temperaturspreizung an Hauptverteilern
Schritt B.2: Temperaturspreizung einzelner Heizkreise

## 6 PLANUNG HYDRAULISCHER ABGLEICH

### 6.1 Unterlagen

Für beide Schulen konnten von den Fachabteilungen Grundrisspläne zur Verfügung gestellt werden. Informationen über das Wärmeverteilnetz (Strangschemen) standen nicht zur Verfügung.

Die Gebäude- und Verbrauchsdaten von 2006 sind nachfolgend zusammengefasst.

Objekt	Fläche	Wärme Verbrauch witt.-ber.	Kennzahl	Strom Verbrauch	Kennzahl
	[m <sup>2</sup> ]	[MWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[MWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Grundschule Hauingen	2.500	230	92	13,6	5,5
Alte Schule Weil am Rhein	3.000	276	92	47,7	15,9

Um möglichst vielseitige Informationen in Bezug auf die Wärmeverteilung zu erhalten, wurden mit den Mitarbeitern der kommunalen Fachabteilungen und den Fachfirmen die in den Objekten gearbeitet hatten sowie den Hausmeistern und den Nutzern Vor-Ort-Gespräche geführt.

<b>Phase C: Unterlagen</b>
Schritt C.1: Bestandsunterlagen
Schritt C.2: Verbrauchswerte
Schritt C.3: Abstimmung

### 6.2 Heizlast

Grundlage für eine strukturierte Vorgehensweise beim hydraulischen Abgleich sollte eine mit allen Beteiligten abgestimmte Raumliste sein, in die auch die für den hydraulischen Abgleich geltenden Sollwerte für die Raumtemperaturen eingetragen werden (Excel-Tabelle „D.1 Raumliste“). Jeder Raum sollte durch eine Nummerierung eindeutig gekennzeichnet und einem Heizstrang (ebenfalls eindeutig nummeriert) zugeordnet sein.

Spätestens bei der Festlegung der Raumtemperaturen wird deutlich, wie wichtig es ist, die Rahmenbedingungen für den hydraulischen Abgleich im Vorfeld verbindlich zu vereinbaren. Jede nachträgliche Änderung wird sich nämlich auf das Gesamtsystem auswirken.

Um die Heizlast in jedem Raum ermitteln zu können, ist es notwendig, die wärmetechnischen Eigenschaften der Umschließungsflächen (U-Werte) zu ermitteln. Bei der Heizlastermittlung in kommunalen Gebäuden müssen unbedingt auch die Wärmeverluste über die Innenwände berücksichtigt werden, da zwischen Nutz- und Nebenräumen häufig unterschiedliche Solltemperaturen anzutreffen sind. Die U-Werte können je nach Komplexität der Bauteile mit einer geeigneten Software, mit einer Excel-Liste (z.B. Tabelle „D.2 U-Werte“) oder per Hand ermittelt werden.

Die Heizlast ergibt sich durch den Wärmestrom durch die Umschließungsflächen im Auslegungsfall (max. Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenraumtemperatur).

Nach welchem Verfahren oder mit welcher Software die Heizlast ermittelt wird, ist im Grunde egal. Wichtig ist, dass die vereinbarten Raumtemperaturen konsequent eingehalten werden.

Im Rahmen des Leitfadens wird die Excel-Tabelle „D.3 spez Heizlast R1“ zur Verfügung gestellt, die zur Ermittlung der Heizlast verwendet werden kann.

Das von der Firma econzept verwendete Verfahren ermöglicht eine Kontrolle der ermittelten Heizlast durch den direkten Vergleich der flächenspezifischen Werte (siehe Grafik „D.5 spez. Heizlast“).

<b>Phase D: Heizlast</b>
Schritt D.1: Erstellung einer Raumliste
Schritt D.2: Aufnahme der Gebäudehülle
Schritt D.3: Ermittlung der spezifischen Heizlasten
Schritt D.4: Ermittlung der Heizlast
Schritt D.5: Kontrolle der spezifischen Heizlasten

### 6.3 Heizflächen

Beim hydraulischen Abgleich im Bestand spielt die Ermittlung der Heizleistung der vorhandenen Heizkörper eine besondere Rolle.

Aus diesem Grunde werden die für den Abgleich wichtigen Informationen wie Heizkörpertyp, Heizkörpergröße, Ventil und Verschraubung, in Anlehnung an die Raumliste, in vier separaten Excel Tabellen „E.1 HK-Liste 1-4“ erfasst. Mit Hilfe dieser Angaben können dann unter Berücksichtigung von Herstellerangaben die Heizkörper-Leistungswerte (Normwerte 75/65/20) ermittelt werden.

Die Grafik „E.3 HK-Check“ stellt das Verhältnis der Heizleistungen der Heizkörper zur Heizlast des zugehörigen Raumes dar. Damit hat man eine grafische Kontrolle, welche Räume über- oder unterdimensioniert sind.

<b>Phase E: Heizkörper</b>
Schritt E.1: Aufnahme der Heizkörper
Schritt E.2: Erstellung einer Heizkörperliste
Schritt E.3: Kontrolle Verhältnis Heizlast zu Heizkörper-Leistungswerten

### 6.4 Rohrnetz

Mit einer automatisierten Excel-Tabelle kann der Aufbau des Heizkreisverteilers und des Verteilernetzes schematisch erfasst werden. Über ein Excel-Makro wird aus dem Verteilernetz eine Übersichtstabelle aller Heizkörper und der dazugehörigen Rohrlängen erstellt (Excel Tabelle „F.3 HK-Netz“) und zudem der Heizstrang mit der längsten Anbindungslänge ermittelt.

**Phase F: Rohrnetz**

Schritt F.1: Erfassung des Heizkreisverteilers

Schritt F.2: Darstellung des Verteilungsnetzes

Schritt F.3: Ermittlung der Anbindungsängen

**6.5 Systemauslegung**

Die Auslegung des Wärmeverteilsystems erfolgt in Excel-Tabelle „G.1 VL RL Temperaturen“.

Der Tabelle ist ein Iterationsverfahren hinterlegt, das ausgehend von der vorgegebenen Vorlauftemperatur die Rücklauftemperatur berechnet.

Die Iteration endet jeweils beim unteren bzw. oberen Extremwert der Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf von 10°C bzw. 30°C. Werden die Extremwerte erreicht, werden die Felder blau (10°C) bzw. gelb (30°C) hinterlegt.

Durch die Variation der Vorlauftemperatur (Feld I7) ist es möglich, eine optimale Auslegung der Wärmeverteilung mit einer

- möglichst tiefen Vorlauftemperatur
- bei einer gleichzeitig maximalen Spreizung zu erreichen.

Begrenzt wird das Verfahren durch eine stetig zunehmende Unterversorgung einzelner Heizkörper (Spalte N). Unterversorgung liegt vor, wenn der Wert kleiner 1 ist. Je kleiner der Wert, umso größer die Unterversorgung. Es liegt im Ermessen des Anwenders, welche Unterdeckung als systemrelevant eingestuft wird. Dies ist in der Regel davon abhängig, welche Bedeutung der unterversorgte Raum bei der Nutzung hat.

Ausgehend von den Temperaturverhältnissen wird dann der notwendige Volumenstrom für jeden Raum ermittelt (Spalte P).

**Phase G: Systemauslegung**

Schritt G.1: Ermittlung der Rücklauftemperaturen und Bewertung der Verteilung

## 6.6 Ventilauslegung

Für die Einregulierung der Heizkörper ist es notwendig, die kv-Werte der Heizkörperventile zu ermitteln. Hierzu werden in Excel-Tabelle „H.1 THV Dimensionierung“ der Druckabfall am Ventil und daraus der kv-Wert ermittelt.

Mit Hilfe der Produktunterlagen von Ventilherstellern können, in Abhängigkeit von Ventiltyp, Nennweite und berechnetem kv-Wert, die Einstellwerte der Ventile ermittelt werden. Sind im Bestand keine voreinstellbaren Ventile eingebaut, sollte ein Ventiltausch angestrebt werden und die Ventilwerte für die neuen Ventile in die Excel-Tabellen eingetragen werden.

Alle für die Ventileinstellung wesentlichen Informationen, insbesondere die Werte für die Voreinstellung der Ventile, können in Excel-Tabelle „H.2 THV Einstellwerte“ übersichtlich zusammengestellt werden.

<b>Phase H: Ventilauslegung</b>
Schritt H.1: THV Dimensionierung
Schritt H.2: THV Einstellwerte

## 6.7 Pumpenauslegung

Werden mit den Pumpen mehrere Gebäudebereiche versorgt, ist es sinnvoll, sich zunächst einen Überblick über die einzelnen Bereiche zu verschaffen.

Hierzu können die Excel-Tabellen „I.1 Ermittlung des Volumenstroms“, „I.2 Ermittlung der Förderhöhe“ genutzt werden.

Der von der Pumpe zu bewältigende Volumenstrom ergibt sich in den Excel-Tabellen „I.1 Heizkreise“ aus der Addition der Einzelvolumenströme der von der Pumpe versorgten Bereiche.

Die notwendige Förderhöhe wird über die Druckverluste in Excel-Tabelle „I.2 Ermittlung der Förderhöhe“ ermittelt.

In der Excel-Tabelle „H.3 Auswahl der Pumpen“ können die Parameter, die für die Auswahl einer neuen Pumpe benötigt werden, eingetragen werden.:

Berechnet		Auslegungsgrundlage		Bestand	
Volumenstrom	notwendige Förderhöhe	Volumenstrom	notwendige Förderhöhe	Pumpe ist	P ist
[l/h]	[m]	[m <sup>3</sup> /h]	[m]		(W)
2.556	2,7	3,0	2,0	Top E 50/1-6	170

Bei der Auswahl der Pumpe mit Hilfe von Volumenstrom und notwendiger Förderhöhe ist es sinnvoll, die Gesamtsituation zu berücksichtigen. In vielen Fällen ist es möglich, die berechneten Werte zu unterschreiten. Auch hier ist ein gewisses Fach- und Erfahrungswissen hilfreich.

<b>Phase I: Pumpenauslegung</b>
Schritt I.1: Ermittlung des Volumenstroms
Schritt I.2: Ermittlung der Förderhöhe
Schritt I.3: Auswahl der Pumpe

## 7 DURCHFÜHRUNG HYDRAULISCHER ABGLEICH

### 7.1 Ausgewählte Maßnahmen

Nach der Erfassung der Ist-Situation in den Schulen wurde gemeinsam mit den kommunalen Fachabteilungen aus Lörrach und Weil am Rhein festgelegt, welche Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmeverteilung durchgeführt werden. Es wurde entschieden, dass die nachfolgenden Maßnahmen umgesetzt werden.

#### Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

- Einbau voreinstellbare Heizkörper-Thermostatventile, überwiegend als Ventil-Austausch-Einsatz im gesamten Objekt, mit nachfolgender Einstellung der ermittelten Voreinstellwerte
- Optimierung der Pumpeneinstellungen (geregelte bzw. hocheffiziente Pumpen bereits vorhanden)
- Schließen der Überströmung am Unter-Verteiler der Schule

#### Alte Schule (Weil am Rhein)

- Einstellung der vorhandenen Heizkörper-Rücklaufverschraubungen auf die ermittelten Einstellwerte im gesamten Objekt
- Einbau von Hocheffizienz-Pumpen in sämtliche Heizkreise (ausgenommen Speicherladepumpe)
- Einbau eines "KSB-BOA-Systronic-System" (2 Regel-, 1 Messventil, 1 Steuereinheit, 1 Pumpen-Kommunikationsmodul) in die Heizgruppe Schule parallel zum konventionellen "Mischer-System" (3-Wege-Mischer + Umwälzpumpe) zum direkten Vergleich
- Umbau der Kessel-/Verteiler-Hydraulik zur Ermöglichung der Brennwertnutzung durch Ausbau bzw. Verzicht auf die Kesselkreispumpe des Brennwertkessel, Rückbau der Überströmung am Verteiler sowie serielle Einbindung des Reserve-Kessel
- Optimierung der Kesselregelung des Brennwertkessel durch Anpassung der Modulationsparameter zur Erzielung langer Brennerlaufzeiten

### 7.2 Ausschreibung von Leistungen

Die durchzuführenden Leistungen wurden in objektbezogene Leistungsbeschreibungen zusammengefasst (siehe Excel-Tabelle „J.1 Ausschreibungstexte“). Mehrere regionale Installationsbetriebe wurden zur Abgabe eines Angebots aufgefordert.

### 7.3 Durchführung von Installations- und Einstellarbeiten

In den Sommerferien 2008 wurden die Installationsarbeiten an den Schulen durch den Installationsbetrieb Tröndle nach entsprechender Einweisung durch econzept ausgeführt. Fachbauleitung und Abnahme erfolgte ebenfalls durch econzept.

Heizkörperventile (Thermostatventile bzw. Rücklaufverschraubungen) wurden auf die zuvor berechneten Voreinstellwerte eingestellt. Analog hierzu wurden auch die Umwälzpumpen auf die berechneten Förderhöhen eingestellt. Das installierte BOA-Systronic-System wurde durch den Service des Herstellers KSB in Betrieb genommen und parametrieret.

Die Installations- und Einstellarbeiten erfolgten ohne nennenswerte Vorkommnisse und ohne Reklamationen seitens der kommunalen Fachabteilungen und der Nutzer.

### 7.4 Optimierungsmaßnahmen im Betrieb

Während der Heizperiode konnten die nachfolgenden Erkenntnisse gewonnen und entsprechende Optimierungsmaßnahmen durchgeführt werden:

#### Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

- die Wärmeverteilung erfolgt jetzt deutlich gleichmäßiger in allen Versorgungsbereichen
- die berechneten Voreinstellungen an den Thermostatventilen konnten beibehalten werden
- während der Heizperiode konnte die Förderhöhe der Pumpen in mehreren Schritten weiter reduziert werden, so dass die berechneten Werte nochmals teilweise deutlich unterschritten werden konnten
- die Einstellung der Kesselregelung wurde dahingehend optimiert, dass die 2-te Brennerstufe nunmehr erst bei einer Außentemperatur unter 8 °C freigegeben wird, somit längere Brenner-Laufzeit bzw. weniger Takten (eine weitergehende Reduzierung war wegen der morgendlichen Legionellenschaltung nicht möglich)

#### Alte Schule (Weil am Rhein)

- die Räume werden nach Aussage des Hausmeisters jetzt gleichmäßiger beheizt als zuvor, Beschwerden der Nutzer sind seither nicht mehr aufgetreten
- die berechneten Einstellwerte an den Rücklaufverschraubungen konnten beibehalten werden
- die berechneten Pumpen-Einstellwerte konnten beim konventionellen System während der Heizperiode aufgrund der Erkenntnisse mit dem BOA-Systronic-System nochmals deutlich reduziert werden
- die nach erfolgter Einstellung der Rücklaufverschraubungen und bei offenen Thermostatventilen durchgeführte Initialisierung des BOA-Systronic-Systems zur Ermittlung der tatsächlichen Netzkennlinie erfolgte durch den KSB-Service; dabei stellte sich heraus, dass der erforderliche Volumenstrom bereits bei einer deutlich geringeren Pumpenförderhöhe erreicht wird



## 7.5 Abstimmung mit den Hausmeistern und Nutzern

Hausmeister und Nutzer wurden im Vorfeld ausführlich darüber informiert, welche Bedeutung ein hydraulischer Abgleich für die Wärmeversorgung bzw. Wärmeverteilung hat.

Vor Beginn der Heizperiode wurde dann nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es durch die Veränderungen auch zu einer Unterversorgung verschiedener Räume kommen kann und dies möglichst umgehend mitgeteilt werden sollte.

Glücklicherweise traten keine Probleme mit Unterbeheizung auf. Vielmehr verbesserte sich die Situation in den bislang kritischen Räumen grundlegend zur Zufriedenheit der Nutzer und Hausmeister.

## 8 ERGEBNISSE

### 8.1 Nutzerzufriedenheit

Aufgrund der verbesserten und ausgeglichenen Beheizungssituation in beiden Schulen wurde die Optimierung der Wärmeverteilung von Seiten der kommunalen Fachabteilungen, den Hausmeistern und den Nutzern überaus positiv zur Kenntnis genommen.

Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

- die Situation in den kritischen Räumen (Sekretariat, Nebenräume Turnhalle) hat sich grundlegend gewandelt, die vormals regelmäßigen Klagen der Nutzer gegenüber dem Hausmeister wegen Unterbeheizung traten seither nicht mehr auf

Alte Schule (Weil am Rhein)

- die Nutzer sind mit der Beheizungssituation und den Raumtemperaturen zufrieden

### 8.2 Wärmeverteilung

Durch den hydraulischen Abgleich gab es bei der Wärmeverteilung keinerlei Probleme mehr. Zuvor häufig auftretende Unzulänglichkeiten bei der Wärmeversorgung (Überhitzung einzelner Räume bei gleichzeitig auftretender Unterversorgung anderer Räume) sind in den letzten beiden Jahren nicht mehr aufgetreten.

Die mit den Excel Tabellen ermittelten Einstellwerte der Ventile und Rücklaufverschraubungen mussten an keinem Heizkörper korrigiert werden.

### 8.3 Volumenströme

Die Volumenströme in der Wärmeverteilung wurden in der Heizperiode 2008/2009 und 2009/2010 mit Labormessgeräten, die von der testo AG zur Verfügung gestellt wurden, gemessen und mit den Werten verglichen, die mit den Excel Tabellen errechnet worden waren.

Es konnte eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und realen Werten festgestellt werden.

## 8.4 Temperaturspreizung

Auch die Temperaturspreizung am Verteiler wurde in der Heizperiode 2008/2009 regelmäßig überprüft. Dabei wurde eine wesentliche Verbesserung der Temperaturspreizungen an allen Teilsträngen und gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und realen Werten festgestellt.

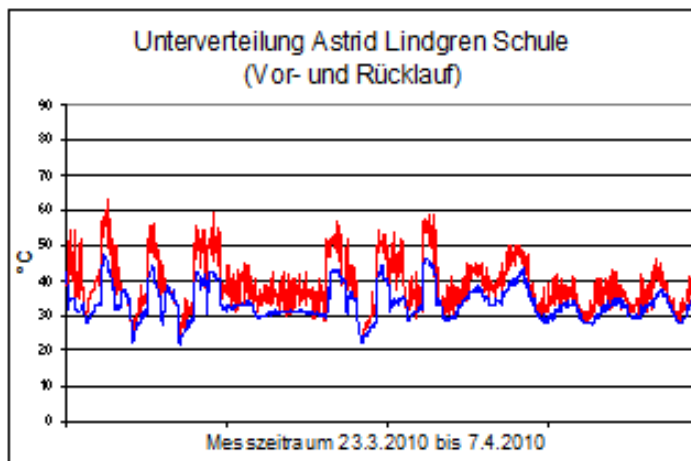
Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

- deutlich höhere Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf in den Heizgruppen

Alte Schule (Weil am Rhein)

- erheblich höhere Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf in den Heizgruppen und insbesondere im Kesselkreis

Zum Projektabschluss wurden im April 2010 nochmals die Temperaturspreizungen mit Datenloggern über 10 Tage aufgezeichnet. In dieser Zeitperiode herrschten milde Außentemperaturen von 8 bis 18 °C.



Die Auswertung der Messreihen ergab, dass in den Übergangszeiten in manchen Teilsträngen die Temperaturspreizung lediglich 10 Kelvin beträgt.

Durch die Messungen wurde auch deutlich, wie wichtig die Überprüfung und die Nachregulierung für einen guten hydraulischen Abgleich sind und dass erst durch die messtechnische Erfassung der Temperaturverhältnisse über einen längeren Zeitraum eine abschließende Beurteilung des Gesamtsystems möglich ist.

## 8.5 Pumpenbetrieb

Alte Schule (Weil am Rhein)

- die elektrische Leistungsaufnahme der neu eingebauten Hocheffizienz-Pumpen ist erheblich geringer als bei den alten Pumpen

Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

- die Pumpeneinstellungen konnten gegenüber dem nicht abgeglichenen Zustand deutlich reduziert werden

## 8.6 BOA-Systronic-System

Alte Schule (Weil am Rhein)

- das installierte BOA-Systronic-System führte zu einer vergleichsweise geringen Pumpenstrom-Einsparung, da die Pumpe im parallel aufgebauten (und wechselseitig betriebenen) konventionellen Mischer-System auf den aus dem BOA Systronic-System abgeleiteten kleinen Sollwert eingestellt wurde
- der Stromverbrauch im konventionellen Mischer-System wäre vermutlich höher gewesen, wenn die Erkenntnisse aus dem Betrieb des BOA-Systronic-System nicht zur Verfügung gestanden hätten und nur durch eine schrittweise Betriebsoptimierung erreicht worden wäre

## 8.7 Wärmeerzeugung

Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

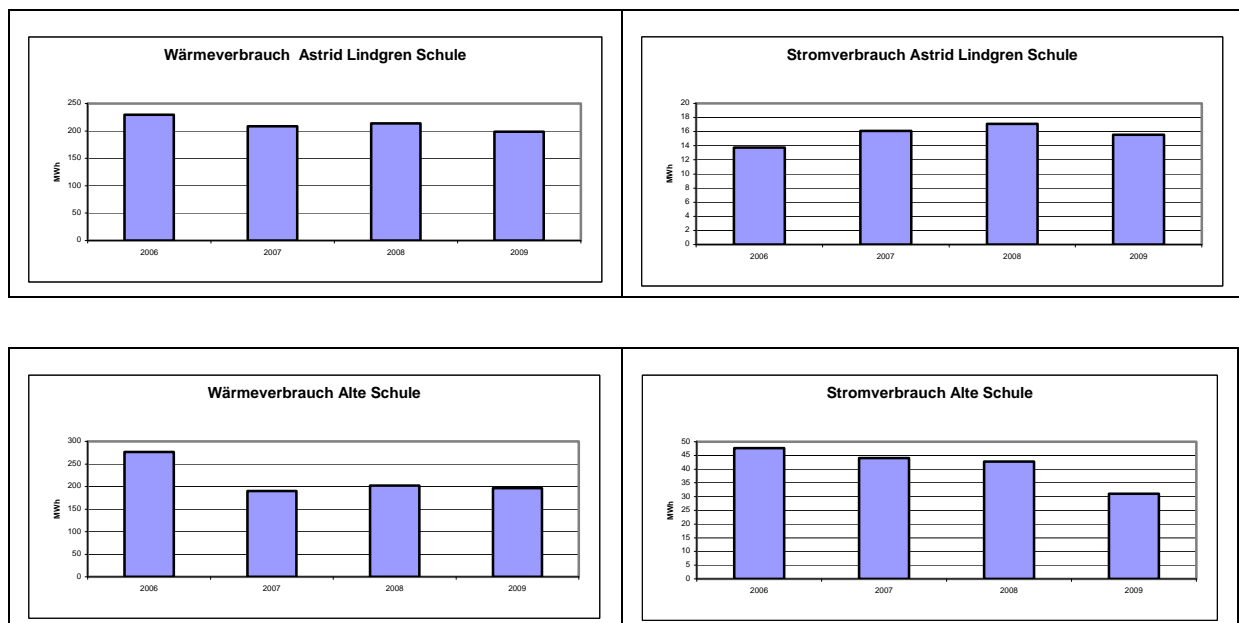
- reduzierte Brenner-Takthäufigkeit und tiefere Kessel-Rücklauftemperaturen, somit weniger Schadstoffausstoß/Verschleiß und bessere Brennwertnutzung

Alte Schule (Weil am Rhein)

- der Reserve-Kessel wurde seither nicht mehr benötigt und wird nicht mehr durchströmt (keine Wärmeverluste)
- stark reduzierte Brenner-Takthäufigkeit und tiefere Kessel-Rücklauftemperaturen, somit weniger Schadstoffausstoß und Verschleiß und deutlich bessere Brennwertnutzung

## 8.8 Bewertung Energieeinsparungen

Nachfolgend sind die Energieverbräuche von Wärme (witterungsbereinigt) und Strom der beiden Schulen seit 2006 dargestellt.



Da an beiden Schulen ergänzende Maßnahmen durchgeführt wurden, die einen direkten Einfluss auf den Wärmebedarf haben, ist es nicht möglich, aus der Energieverbrauchs-entwicklung Rückschlüsse auf den Energieeinspareffekt durch den hydraulischen Abgleich zu ziehen.

Die Energieeinsparungen, die auf den hydraulischen Abgleich zurückgeführt werden können, betragen

#### Astrid-Lindgren Schule (Lörrach)

- Wärme ca. 3%
- Strom gesamt: ca. 8%\*
- Pumpenstrom: ca. 35% (Gesamtleistung: 570 W statt 880 W)\*

#### Alte Schule (Weil am Rhein)

- Wärme ca. 3%
- Strom gesamt: ca. 12%\*
- Pumpenstrom: ca. 81% (Gesamtleistung: 230 W statt 1.250 W)\*

\*: über den reduzierten Pumpenstrom berechnet

## 9 SONSTIGES

Im Rahmen des Projekts ergaben sich Schwierigkeiten bei den Messungen durch milde Außentemperaturen im vorgesehenen Messzeitraum. Dadurch mussten die Messungen in der darauffolgenden Heizperiode erneut durchgeführt werden, was zu deutlichen Verzögerungen im Projektablauf führte.

Es sollte daher bei der Planung und Terminierung von Messungen beachtet werden, dass:

- die Messungen in der ersten Hälfte der Heizperiode terminiert werden.
- Ausweichtermine eingeplant werden.

Für die genaue Erfassung der Einsparungen sollten Messgeräte an den einzelnen Pumpen oder besser ein Stromzähler für den gesamten Heizungsstrom vorgesehen werden.

## 10 DER LEITFADEN IM INTERNET

Der Leitfaden mit den zugehörigen Excel-Dateien und Beispieltabellen sowie dieser Projektbericht können von der Internetseite der Firma econzept ([www.econzept.de](http://www.econzept.de)) oder von der Internetseite der Stadt Lörrach ([www.loerrach.de/energiestadt](http://www.loerrach.de/energiestadt)) heruntergeladen und kostenfrei genutzt werden.

## 11 AUSBLICK

Damit der Leitfaden eine weite Verbreitung und Nutzung erfahren kann, ist eine Präsentation auf zwei Veranstaltungen vorgesehen. Zunächst soll der Leitfaden auf dem Forum für kommunales Energiemanagement in Stuttgart im Juni / Juli 2011 vorgestellt werden. Veranstalter ist die Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA). Im Herbst 2011 soll dann eine regionale Veranstaltung zum Thema hydraulischer Abgleich in Lörrach oder Weil am Rhein durchgeführt werden. Damit sollen sowohl die kommunalen Verantwortlichen in den größeren Städten Baden-Württembergs als auch die Verantwortlichen in kleineren regionalen Gemeinden angesprochen werden.

In ersten Gesprächen mit der KEA hat sich gezeigt, dass es zu dem Thema Hydraulischer Abgleich unterschiedliche Auffassungen gibt. Im Wesentlichen stehen sich die Aspekte „Genauigkeit“ und „Aufwand“ gegenüber. In diesem Zusammenhang spielt auch die Frage eine Rolle, welches Fachwissen erforderlich ist, um Ungenauigkeiten sachgerecht einschätzen zu können. Diese Fragen sollen auf dem Forum in Stuttgart diskutiert werden.

Die Anwendung des Leitfadens wurde bisher erst in zwei Fällen angewendet. Es wäre jedoch auch interessant, die Anwendung in weiteren Fällen zu prüfen. Interessant ist insbesondere, wie gut die kommunalen Verantwortlichen mit dem Leitfaden zurecht kommen, wenn keine durchgehende Unterstützung von außen erfolgt, wie sie in dem Projekt durch das Büro econzept gegeben war. Auf diese Weise könnte nicht nur die Praxistauglichkeit des Leitfadens geprüft werden sondern es könnten auch Stellen im Verfahren gefunden werden, die im Regelfall eine Unterstützung durch Fachleute erfordern. Auch die Fragen, wie komplex ein Heizungssystem sein darf, damit der Leitfaden zur Anwendung kommen kann und welche Heizungssysteme nicht abgebildet werden können, sind noch ungeklärt. Ein intensiver Praxistest zur Klärung dieser noch offenen Fragen könnte auch im Rahmen eines folgenden Innovationsfonds-Projekts bzw. im Rahmen anderer Förderprogramme (z.B. Klimaschutz-Plus) durchgeführt werden.

## 12 ANLAGEN

- Leitfaden für kommunale Fachabteilungen zur hydraulischen Optimierung von Heizungsanlagen
- Excel-Tool mit Excel-Dateien „LHO Phase A bis J ... .xls“
- Beispieldaten mit Excel-Dateien „Beispiel LHO Phase A bis J ... .xls“