

-

# Energie erzeugen – Energieverbrauch senken Energetische Schulsanierung mit Gewinn

„100.000 Watt-Solar-Initiative für Schulen in NRW -  
EnergieSchule 2000+“

**Solar- und Sparprojekt**  
am Aggertal-Gymnasium in Engelskirchen

Kurt Berlo,  
Thorsten Ellenbeck,  
Detmar Schaumburg,  
Dieter Seifried,  
Gerhard Wohlauf,  
unter Mitarbeit von Marcus Voigt



# Energie erzeugen – Energieverbrauch senken

Energetische Schulsanierung mit Gewinn

## Inhalt:

<b>1</b>	<b>Projektidee</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Bürgercontracting</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Solar- und Spar-Maßnahmen</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Bau und Betrieb der Photovoltaik-Anlage</b> .....	<b>4</b>
3.1.1	Dimensionierung der Photovoltaikanlage .....	4
3.1.2	Das Solardach .....	5
<b>3.2</b>	<b>Sanierung der Beleuchtung im Aggertal-Gymnasium</b> .....	<b>6</b>
3.2.1	Vorteile einer effizienten Beleuchtung .....	6
3.2.2	Sanierung der Beleuchtung in den Klassenzimmern.....	6
3.2.3	Turnhalle und Aula.....	7
3.2.4	Flure und WCs.....	7
3.2.5	Zusammenfassung Beleuchtung .....	7
<b>3.3</b>	<b>Optimierung der Heizkreisläufe sowie der Regelungstechnik</b> .....	<b>7</b>
3.3.1	Hydraulischer Abgleich .....	7
3.3.2	Planungsdetails und Wirtschaftlichkeit .....	9
<b>3.4</b>	<b>Wärmeversorgungskonzept und Blockheizkraftwerk</b> .....	<b>10</b>
3.4.1	Der Wärmebedarf der Schule.....	10
3.4.2	Das Wärmeversorgungskonzept .....	10
3.4.3	Das Blockheizkraftwerk .....	10
3.4.4	Erstellung des Blockheizkraftwerkes .....	11
3.4.5	DDC-Anlage .....	11
3.4.6	Die Sanierung der Brauchwasserbereitung.....	12
3.4.7	Erschließung weiterer wirtschaftlich darstellbarer Energieeinsparpotenziale .....	12
<b>3.5</b>	<b>Maßnahmen zur Wassereinsparung</b> .....	<b>13</b>
3.5.1	Ausgangssituation/konkrete Wasserverbrauchskennwerte .....	13
3.5.2	Durchgeführte/Vorgesehene Optimierungsmaßnahmen .....	13
<b>4</b>	<b>Stromertrag der PV-Anlage übertrifft die Erwartungen</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Stromeinsparungen in der Schule</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>15</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wasserverbrauch des Aggertal-Gymnasiums der Jahre 1999-2002 .....	13
------------	---	----

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Energetisches Sanierungsobjekt Schule.....	2
Abbildung 2:	Vorteile des Solar- und Spar-Projektes .....	3
Abbildung 3:	Eingänge der Bürgerbeteiligungen.....	3
Abbildung 4:	Regionale Verteilung der Anteilseigner .....	4
Abbildung 5:	Vorteile des Bürgercontractings.....	4
Abbildung 6:	Eckdaten der PV-Anlage .....	4
Abbildung 7:	Betriebs- und Funktionsschema der PV-Anlage.....	5
Abbildung 8:	Montage der ersten Solarmodule auf dem Dach des Aggertal-Gymnasiums im Herbst 2001 .....	5
Abbildung 9:	Montierte Wechselrichter im Dachstuhl des Aggertal-Gymnasiums Engelskirchen. ....	6
Abbildung 10:	Technische Unterschiede zwischen alter und neuer Beleuchtung .....	6
Abbildung 11:	Ungleichmäßige Wärmeabgabe in den einzelnen Räumen.....	8
Abbildung 12:	störendes Strömungsrauschen am Heizkörper .....	8
Abbildung 13:	Ausgebaute Umwälzpumpen und Armaturen (Hauptverteilung).....	9
Abbildung 14:	Neue drehzahlgeregelte Hauptpumpen. ....	9
Abbildung 15:	Schema der neuen Heizungsanlage.....	10
Abbildung 16:	BHKW-Modul während der Einbringung mit dem Autokran (noch ohne Schallschutzhaube) .....	11
Abbildung 17:	BHKW-Modul fertig installiert im Keller des ATG .....	11
Abbildung 18:	Schema der Warmwasserversorgung in der Turnhalle.....	12
Abbildung 19:	Erwarteter und realer monatlicher Energieertrag der PV-Anlage am Aggertal-Gymnasium Engelskirchen 2002 (kumuliert).....	14
Abbildung 20:	Stromverbrauch im Aggertal-Gymnasium im Vergleich zu den Vorjahren.....	15

## 1 Projektidee

Der Ansatz des Projektes basiert auf der Erkenntnis, dass rationelle Energienutzung in einem weiten Bereich wirtschaftlich ist. So entstand die Idee, Maßnahmen für den Klimaschutz mit einem Angebot für eine interessante „grüne Kapitalanlage“ für „jedermann“ zu verbinden. Vor dem Hintergrund der neuen Förderpolitik für regenerative Energiequellen (Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetz [EEG] im April 2000) wurde das Konzept des Projektes entwickelt.

Rechnet man die CO<sub>2</sub>-Minderung aller Maßnahmen zusammen, so ergibt sich eine CO<sub>2</sub> Reduktion gegenüber dem Ausgangszustand von rund 70 Prozent. Damit belegt das Projekt eindrucksvoll: Klimaschutz ist machbar; er ist darüber hinaus aber auch finanziell attraktiv.

Abbildung 1: Energetisches Sanierungsobjekt Schule

<b>Aggertal-Gymnasium Engelskirchen</b>	
 <p>Aggertal-Gymnasium: Südansicht (vor der Flachdachsanierung)</p>	<p><b>Gebäudeeigentümer:</b> Gemeinde Engelskirchen</p> <p><b>Gewerke:</b> Solar- und Sparmaßnahmen im Rahmen eines Contracting-Vertrages</p> <p><b>Projekträger:</b> Solar&amp;Spar Contract GmbH &amp; Co. KG Aggertal-Gymnasium Engelskirchen</p> <p><b>Laufzeit des Projektes:</b> 20 Jahre</p>
	<p>Baujahr der Schule: 1965 Anzahl der Schüler: ca. 700 Nutzfläche: 7.844 qm</p> <p><b>Energie- und Wasserverbrauch vor der Sanierung</b></p> <p>Stromverbrauch/a: 120.000 kWh Wärmebedarf/a: 1.280 MWh Wasserverbrauch/a: 735 cbm (2000/2001)</p>

Die energetische Sanierung des Aggertal-Gymnasiums (ATG) erfolgte im Rahmen der „100.000 Watt-Solar-Initiative für Schulen in NRW“, deren Umsetzung und wissenschaftliche Begleitung vom Land Nordrhein-Westfalen mit Mitteln des REN-Programms (Programmbereich "Demonstrationsförderung") gefördert wird. Die Initiative ist ein Projekt der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW. Das Wuppertal Institut lieferte die Konzeptidee und ist neben der technischen Umsetzung auch für die wissenschaftliche Begleitung zuständig.

Die Solar- und Sparmaßnahmen an der Schule umfassen insgesamt **sechs Bereiche**:

1. Bau und Betrieb einer **Photovoltaikanlage**
2. **Sanierung der Beleuchtung** in Klassen, Lehrerzimmern, Aula, Turnhalle, Fluren und Nebenräumen
3. Sanierung der **Heizungshydraulik** (Pumpensanierung und Optimierung der Heizkreisläufe sowie der Regelungstechnik)
4. Bau und **Betrieb eines BHKW** mit einer elektrischen Leistung von 50 kW<sub>el</sub> durch die Stromversorgung Aggertal
5. Erschließung weiterer wirtschaftlich darstellbarer **Energieeinsparpotenziale** und

## 6. Maßnahmen zur **Einsparung von Wasser**

Im Januar 2002 gaben der Kölner Regierungspräsident Jürgen Roters, Volkmar Riechmann (NRW Wirtschaftsministerium), Bürgermeister Wolfgang Oberbüscher und Schulleiter Klaus-Dieter Vilshöfer den Startschuss für die offizielle Inbetriebnahme der Solar- und Spar-Maßnahmen am Aggertal-Gymnasium. Mit der rund 350 Quadratmeter großen Photovoltaikanlage auf dem Dach der Schule entstand das größte Solarkraftwerk der Region Oberberg. Die Verantwortung der Maßnahmenrealisierung (mit Ausnahme des BHKW, das in Trägerschaft der Stromversorgung Aggerstrom geplant und gebaut wurde) lag bei der von Mitarbeitern des Wuppertal Instituts gegründeten Projektträgergesellschaft Solar&Spar Contract GmbH & Co. KG Aggertal-Gymnasium Engelskirchen<sup>1</sup>.

Das am ATG in Engelskirchen umgesetzte Solar- und Sparprojekt zeigt nach dem ersten Betriebsjahr, dass die ökologische und ökonomische Rechnung aufgeht. Die Erwartungen sind erfüllt und zum Teil sogar übertraffen worden.

### **Grundidee der 100.000 Watt-Solar-Initiative:**

In dem Schulprojekt werden der Bau von größeren Photovoltaik-Anlagen (bis 50 kW-Leistung) mit Maßnahmen der Beleuchtungssanierung (Einbau von moderner und effizienter Beleuchtung) und sonstigen Energieeinsparinvestitionen in einem Gesamtpaket kombiniert. Grundidee der "100.000 Watt-Solar-Initiative" ist, dass an ausgesuchten nordrhein-westfälischen Schulen pro Schüler 50 Watt solare Stromerzeugung installiert und 50 Watt an der Beleuchtungsleistung eingespart werden. So werden pro Schüler insgesamt 100 Watt Leistung an herkömmlicher Stromerzeugung hinfällig. Bei Schulen mit ca. 1000 Schülerinnen und Schülern kann so jeweils pro Schule ein 100.000 Watt-Solar-Einsparkraftwerk geschaffen werden.

Der größte Anteil der Investitionskosten entfiel auf die Photovoltaikanlage mit netto rund 250.000 Euro (ohne Mehrwertsteuer und ohne Planungs- und Ausschreibungskosten). Daneben wurde die gesamte Beleuchtungsanlage saniert, was in etwa 90.000 Euro in Anspruch nahm. Weitere Maßnahmen im Bereich der hydraulischen Sanierung schlugen mit rund 35.000 Euro zu Buche.

Maßgeblich für die rasche Projektumsetzung war, dass die Gemeinde Engelskirchen ebenso wie die Stromversorgung Aggertal GmbH und die Schulleitung des ATG das Projekt von Beginn an tatkräftig unterstützten. So beschloss der Gemeinderat mit Zustimmung aller im Rat vertretenen Fraktionen den Abschluss des **Contracting-Vertrages**. Der örtliche Stromversorger, die Stromversorgung Aggertal, installierte im Keller der Schule ein erdgasgefeuertes Blockheizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 50 kW. Sie leistet somit einen weiteren Beitrag zur umweltfreundlichen Stromerzeugung im Rahmen des Gesamtprojektes. Die gesamten Investitionen für das BHKW wurden von der Stromversorgung Aggertal GmbH übernommen. Die

<sup>1</sup> Komplementär ist die Solar&Spar Contract GmbH (Gesellschafter bestehen überwiegend aus Mitarbeitern der Abteilung Energie des Wuppertal Instituts); Kommanditist ist ein Mitarbeiter des Wuppertal Instituts. Im Zuge des Bürger-Contractings sind weitere 60 private Geldgeber als atypisch stille Gesellschafter beteiligt.

durch die dezentrale Stromerzeugung eingesparte Stromsteuer kommt dem Projekt und damit den Kapitalgebern zugute. Die Gemeinde Engelskirchen baute das sanierungsbedürftige Flachdach zu einem Satteldach um. Dies war eine willkommene Gelegenheit, die Photovoltaikmodule direkt in die Dachhaut zu integrieren und die Wärmedämmung des Daches zu verbessern.

Prof. Peter Henicke, amtierender Präsident des Wuppertal Instituts, betont: „Mit dem Start der '100.000 Watt-Solar-Initiative für Schulen in Nordrhein-Westfalen – EnergieSchule 2000+' wurde ein ganz neuer Ansatz im Energiespar-Contracting-Bereich beschrrieben: Klimaschutz soll als Kapitalanlage verstanden werden.“ Die 100.000 Watt-Solar-Initiative soll einen Beitrag zur Marktentwicklung der Photovoltaik und für die Marktdurchdringung effizienter Beleuchtungssysteme leisten. Darüber hinaus soll die Initiative durch die praktische Anschauung und Umsetzung über diese Technologien informieren und die Schüler und beteiligten Lehrer und Eltern für weitergehende Verhaltensänderungen motivieren. Ein Projektansatz, der auch von Norbert Hüttenhölcher, dem Leiter der Energieagentur NRW, rückhaltlos unterstützt wird.

Abbildung 2: Vorteile des Solar- und Spar-Projektes

### Vorteile des Solar- und Spar-Projektes

- **Investor erhält ordentliche Verzinsung (ca. 5 Prozent)**
- **Schule und Gemeinde sparen Sanierungskosten**
- **Lehrer und Schüler erleben hautnah praktischen Klimaschutz**
- **Hausmeister hat weniger Wartungsarbeiten**
- **örtliche Handwerker erhalten Aufträge**
- **Umwelt wird jährlich von über 200.000 Kilogramm Kohlendioxid entlastet**

Dass es bei der Verwirklichung des Projektes nur Gewinner gibt, belegt die Reaktion der eingebundenen Partner und Akteure. Engelskirchens Bürgermeister Wolfgang Oberbüscher und Schulleiter Klaus-Dieter Vilshöfer sind sehr zufrieden, dass dieses Projekt am Aggertal-Gymnasium umgesetzt werden konnte. Immerhin wird durch die energetische Sanierung der Schule der jährliche Strombedarf von 120.000 kWh auf 30.000 reduziert. So werden jährlich weit über 200.000 kg Kohlendioxid erspart – ein enormer Beitrag für den Klimaschutz. Mit der Umsetzung des Solar- und Sparprojektes am Aggertal-Gymnasium Engelskirchen waren weitere Vorteile verbunden:

- Das Gymnasium erhielt neben der Solaranlage eine effiziente Beleuchtung. Durch das flackerfreie Licht werden die Lernbedingungen für die Schüler deutlich verbessert. Brummgeräusche von defekten Kondensatoren gehören nun der Vergangenheit an.
- Weiterhin hat das Projekt eine nicht zu unterschätzende Demonstrationswirkung für die Vorteilhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit effizienter Beleuchtungssysteme, die über den direkten Einspareffekt weit hinausgeht.
- Die Gemeinde Engelskirchen profitierte in mehrfacher Hinsicht von dem Projekt: Die Faszination, die von

der Solarenergie sowie der modernen Technik zur rationellen Energieverwendung ausgeht, strahlt auch auf die Kommune aus. Darüber hinaus spart die Gemeinde die Kosten für eine ohnehin fällige Sanierung ein. Weiterhin werden die Betriebskosten stark reduziert, da eine neue Beleuchtung rund 80 Prozent weniger Wartungsaufwand und Leuchtröhren benötigt.

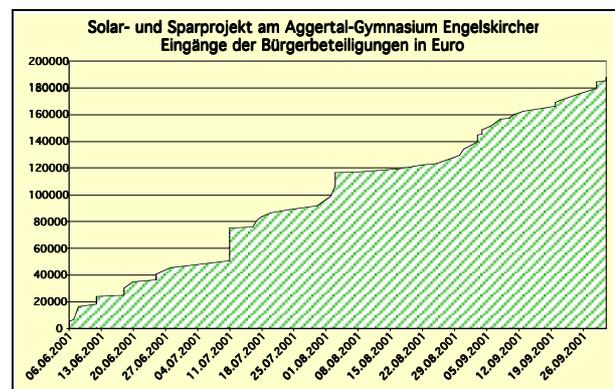
Bei den gegebenen Rahmenbedingungen (Einspeisungsvergütung nach Erneuerbarem-Energien-Gesetz sowie Förderungen nach dem 100.000 Dächer-Programm und dem REN-Programm NRW) sind die Maßnahmen insgesamt wirtschaftlich. „Mit den dokumentierten Erfahrungen“, sagt Jutta von Reis vom Forschungszentrum Jülich, die das Projekt im Auftrag des Düsseldorfer Energieministeriums betreut, „sollen künftig gemäß des definierten Projektzieles private Contractoren gefunden und in die Lage versetzt werden, ähnliche Projekte an anderen Schulen umzusetzen.“ Klimaschutz an Schulen soll künftig als profitables Geschäftsfeld erschlossen werden.

Die erfolgreiche Kombination von „Solar&Spar“ soll nun in einer zweiten Projekt-Phase an vier weiteren Schulen in NRW realisiert werden. Frank-Michael Baumann würde es begrüßen, wenn die „100.000 Watt-Solar-Initiative“ künftig als Leitprojekt der von ihm geführten Landesinitiative Zukunftsenergien NRW eingestuft werden könnte.

## 2 Bürgercontracting

Die Besonderheit des Projektes ist gekennzeichnet durch die Realisierung einer privaten Bürgerbeteiligung. Wie Abbildung 4 zeigt, haben sich 60 interessierte Bürgerinnen und Bürger finanziell engagiert. Die Anteilseigner kommen überwiegend aus Engelskirchen und der Region Oberberg. Innerhalb von fünf Monaten konnten im Rahmen einer bundesweiten Kampagne<sup>2</sup> („Klimaschutz als Kapitalanlage“) 194.000 EUR eingeworben werden. Die privaten Investoren kauften sozusagen Anteilsscheine der eigens für dieses Projekt von Mitarbeitern des Wuppertal-Instituts gegründeten Firma Solar&Spar Contract GmbH & Co. KG (in Form einer stillen Beteiligung). Die Renditeerwartung für diese private Kapitalanlage liegt bei ca. 5 Prozent.

Abbildung 3: Eingänge der Bürgerbeteiligungen



<sup>2</sup> Redaktionelle Beiträge erschienen z.B. in: Frankfurter Rundschau (29.05.2001): „Energiesparen macht Schule“; die tageszeitung (25.06.2001): „Klimaschutz als Geldanlage“; VDI-Nachrichten (14.09.2001): „Privates Kapital macht Öko-Schule möglich“ und Süddeutsche Zeitung, Ausgabe NRW v. 21.03.2002: „Solaranlage – Kapitalanlage. Wie eine Schule eigenen Öko-Strom produziert ...“.

Die finanztechnische Konstruktion entspricht der einer Windparkbeteiligung: In den ersten vier Jahren erhalten die Investoren zunächst eine steuermindernde Verlustzuweisung (bedingt durch die degressive Abschreibung des Anlagekapitals), danach werden Gewinne ausgeschüttet.

Abbildung 4: Regionale Verteilung der Anteilseigner

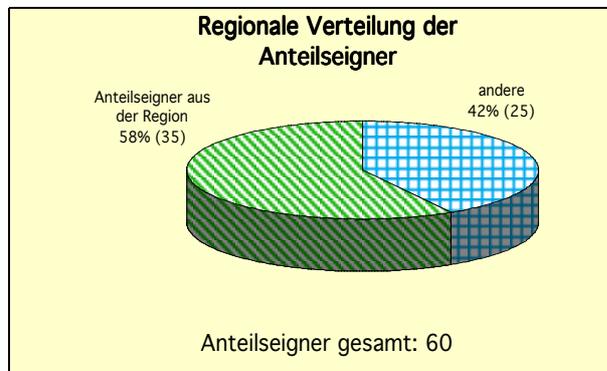


Abbildung 5: Vorteile des Bürgercontractings

**Vorteile des Bürgercontractings:**

1. **Ökologische Kapitalbeteiligung mit ca. 5 Prozent Rendite („Klimaschutz als Kapitalanlage“)**
2. **Einbindung in finanzielle Verantwortung vergrößert Identifikation mit dem Projekt**
3. **Praktischer Klimaschutz wird erfahrbar gemacht**
4. **Private Geldgeber verbessern ihre eigene CO<sub>2</sub>-Bilanz**
5. **Mobilisierung von privatem Kapital für ökologische Konzepte**
6. **Realisierung größerer Klimaschutz-Projekte durch finanzielle Einbindung vieler wird ermöglicht**

**3 Solar- und Spar-Maßnahmen**

**3.1 Bau und Betrieb der Photovoltaik-Anlage**

Mit dem Bau der ca. 350 Quadratmeter großen Photovoltaikanlage entstand auf dem Dach des Aggertal-Gymnasiums in Engelskirchen das größte Solarkraftwerk der Region Oberberg. Die Gemeinde Engelskirchen baute zuvor das sanierungsbedürftige Flachdach zu einem Satteldach um. Dies war eine willkommene Gelegenheit, die Photovoltaikmodule direkt in die Ziegelaufdeckung zu integrieren. So setzt der ökologische Umbau der Energieversorgung an der Schule auch architektonische Akzente.

Die PV-Anlage wurde im Sommer 2001 nach dem Reglement der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB) bundesweit öffentlich ausgeschrieben. Bestandteil der Ausschreibung war auch die Fernüberwachung der Anlage und eine Sicherstellung der Wartung innerhalb der ersten fünf Betriebsjahre. Ein Leistungsprogramm ersetzte das Leistungsverzeichnis der Regelausschreibungen, um unterschiedliche Anlagenkonzepte zuzulassen. Es wurden qualitative Vorgaben gemacht und Zertifizierungen gefordert, die im Jahr 2001 für eine finanzielle Förderung unumgänglich wa-

ren. Besondere Berücksichtigung fanden in der Planung folgende Punkte:

- Leistungsgarantie auf die Module
- ausreichende Hinterlüftung
- Leistungsanpassung von Modulsträngen und Wechselrichtern
- Wirkungsgrad der Wechselrichter
- Dimensionierung der Leitungen, insb. der Hauptleitung
- Brand-/Überspannungs-/Blitzschutz
- Wartung und Anlagenfernüberwachung
- Solarkasko/Solarausfallversicherung.

Am 20.12.2001 ging die Photovoltaikanlage offiziell ans Netz.

**3.1.1 Dimensionierung der Photovoltaikanlage**

Der Solargenerator hat eine Anlagenleistung von 43,2 kWp, bestehend aus 360 polykristallinen Modulen, angeordnet in 12 Strängen. Kosten der Photovoltaik inklusive der Dachintegration: etwa 250.000 Euro netto, also etwa 5.800 Euro pro installiertem Kilowattpeak Leistung.

Abbildung 6: Eckdaten der PV-Anlage

<b>Photovoltaikanlage Aggertal-Gymnasium Engelskirchen</b>	
	<p><b>Betreiber:</b> Solar&amp;Spar Contract GmbH &amp; Co. KG Aggertal-Gymnasium Engelskirchen</p> <p><b>Einspeisung in das Niederspannungsnetz von:</b> Stromversorgung Aggertal GmbH</p>
Dachintegrierte PV-Anlage auf dem Aggertal-Gymnasium Engelskirchen setzt auch architektonische Akzente	
Installierte Leistung:	43,20 kWp
Solarmodule AS 1204E:	360 Stück
Wechselrichter SMA SWR 3000:	12 Stück
Traggerüst:	SOLRIF Schweizer
Höhe der Einspeisevergütung:	50,62 Cent/kWh
Inbetriebnahme:	20.12.2001
Laufzeit des Einspeisevertrages nach EEG:	20.12.2001 bis 31.12.2021

Jeder Strang à 30 Solarmodulen versorgt jeweils einen Wechselrichter, der aus dem solar erzeugten Gleichstrom dreiphasigen Wechselstrom erzeugt. Die Wechselrichter sind im begehbaren Dachraum angeordnet; die Wechselstrom-Hauptleitung führt zum Einspeisezähler in den Anschlussraum im Nebengebäude. Eine zusätzliche Datenleitung, die sowohl die Schulrechner als auch den Installationsbetrieb automatisch mit Betriebs- und Störungsdaten versorgt, wurde ebenfalls installiert.

### 3.1.2 Das Solardach

Da die Gemeinde Engelskirchen ohnehin daran dachte, das sanierungsbedürftige Flachdach der Schule durch ein Satteldach zu ersetzen, konnte das etwa 350 qm große Modulfeld in die Südseite dieses Daches integriert werden – eine Lösung, die nicht nur ästhetischen Erwägungen gerecht wird, sondern eine ebenso große Fläche an Dachziegeln einspart. Eine Besonderheit in diesem Solardach: Das Modulfeld ist ohne Unterspannbahn verlegt worden. Dadurch werden die Modultemperaturen niedrig gehalten und wärmebedingte

Ertragseinbußen wirksam vermindert. Durch Lüftungsschlitze in der Traufe, am First und in der umgebenden Ziegeleindeckung wird warme Luft aus dem Dachraum konvektiv an die Umgebung abgeführt.

Sämtliche Modulanschlussdosen und Kabel sind wie auch die Wechselrichter und der Datenlogger inklusive Display im sonst ungenutzten Dachstuhl frei zugänglich. Besucherinnen und Besucher können die solare Technik nach Absprache sprichwörtlich hautnah erleben.

Abbildung 7: Betriebs- und Funktionsschema der PV-Anlage

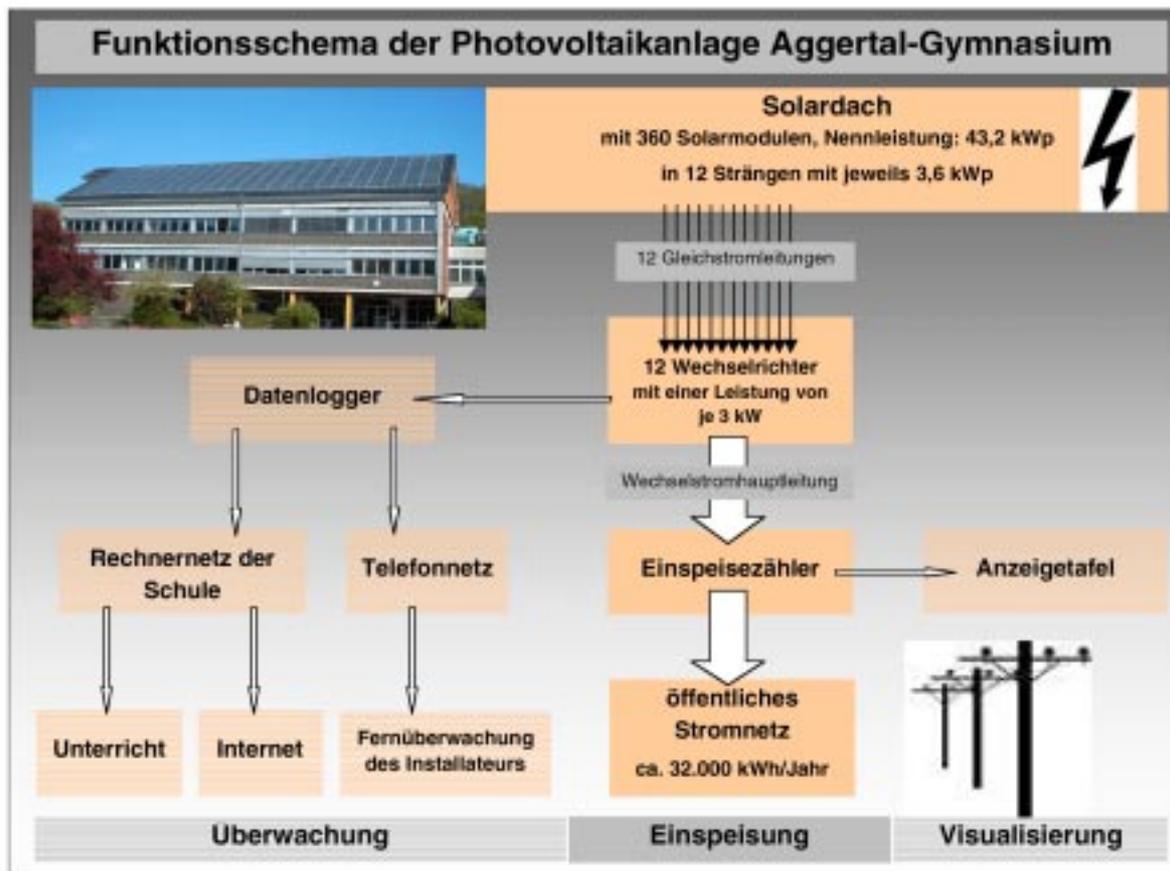


Abbildung 8: Montage der ersten Solarmodule auf dem Dach des Aggertal-Gymnasiums im Herbst 2001



Die Module sind ähnlich wie Dachziegel schindelförmig verlegt, bieten dem Niederschlag also eine natürliche Abflussmöglichkeit. Schnee, der über die glatte, um 30° geneigte, selbst reinigende Modulfläche abrutschen kann, wird von verstärkten Schneefanggittern abgebremst. Da die untere Modulreihe horizontal zu einem Strang verschaltet ist, hat liegendebleibener Schnee keine Auswirkung auf die übrigen 11 Stränge: denn auch sonnige Wintertage können aufgrund der niedrigen Temperaturen gute Erträge liefern. Eine komplette Querverschaltung bot sich nicht an, denn dies hätte lange und somit verlustbehaftete Kabelwege bedeutet.

Die Dachhaut des alten Flachdaches wurde weitestgehend erhalten. Darunter wurde eine verstärkte Wärmedämmung angebracht, um den Heizenergieverbrauch der Schule zu reduzieren.

Abbildung 9: Montierte Wechselrichter im Dachstuhl des Aggertal-Gymnasiums Engelskirchen.



## 3.2 Sanierung der Beleuchtung im Aggertal-Gymnasium

### 3.2.1 Vorteile einer effizienten Beleuchtung

Ziel der 100.000 Watt-Solar-Initiative ist es, pro Schüler rund 50 Watt an Beleuchtungsleistung einzusparen. Dieses Ergebnis wurde erreicht, indem die komplette Beleuchtungsanlage des Aggertal-Gymnasiums (mit Ausnahme einiger Abstellräume) erneuert wurde. Bevor auf die einzelnen Schritte eingegangen wird, sollen die allgemeinen Vorteile der Maßnahmen kurz umrissen werden.

- Durch den Einbau von Leuchten mit elektronischem Vorschaltgerät wird die Beleuchtungsqualität verbessert. Aufgrund des hochfrequenten Lampenbetriebes gehört das störende Elektrodenflimmern mit dem Einbau der neuen Leuchten der Vergangenheit an. Zudem zeichnen sich die Lampen durch einen flackerfreien Sofortstart aus. Funktionsuntüchtige Leuchtstofflampen werden von den Vorschaltgeräten erkannt und ausgeschaltet. Störendes Brummen von Leuchtstofflampen gibt es somit in den sanierten Klassenzimmern nicht mehr.
- Der Hausmeister wird beim Austausch defekter Leuchtstofflampen entlastet: Aufgrund der geringeren Anzahl von Lampen und der längeren Lebensdauer der Leuchten entfallen mehr als drei Viertel der bisherigen Auswechslungen.
- Die überwiegend eingesetzten T5-Lampen (Leuchtstoffröhren mit einem Durchmesser von 12 mm) besitzen eine neue Beschichtungstechnik. Während herkömmliche T8-Lampen mit den Jahren weniger Lichtstrom ausstrahlen, lässt die Beleuchtungsstärke der T5-Lampe kaum nach. Zusätzlich minimiert die verlängerte Lampenlebensdauer von 16.000 Stunden den Wartungsaufwand. Da für die Lampenherstellung weniger Material (Glas, Quecksilber und Metall) benötigt wird, vermindert sich einerseits die Umweltbelastung, andererseits werden die künftigen Kosten für Entsorgung und Recycling gesenkt.

### 3.2.2 Sanierung der Beleuchtung in den Klassenzimmern

Die Klassenzimmer des Aggertal-Gymnasiums waren durchgängig mit zweiflämmigen opalen Wannen-Leuchten ausgestattet. Diese waren bereits über 20 Jahre alt und teilweise sanierungsbedürftig. Die vorhandenen opalen Wannenleuchten wurden durch einflämmige Raster-Anbauleuchten mit elektronischem Vorschaltgerät und T5-Technologie ausgetauscht. Damit kommt die derzeit modernste und effizienteste Beleuchtungstechnologie zum Einsatz. Durch die dünnere Leuchtstoffröhre und eine bessere Lampengeometrie gelingt es, einen großen Anteil des Lichts zielgerichtet zu lenken. Auf diese Art wird ein sehr hoher Leuchtenwirkungsgrad erreicht.

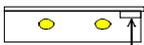
Die eingesetzte Technik senkt die Leistungsaufnahme gegenüber einer alten Leuchte von 142 Watt auf 35 Watt. Damit können Stromverbrauch und Leistungsaufnahme um rund 75 Prozent reduziert werden. Die Effizienzsteigerung kommt im Wesentlichen durch drei technische Verbesserungen zustande:

- durch einem höheren Leuchtenwirkungsgrad (verspiegelte Raster anstelle von opaler Wanne),
- durch den Einsatz der T5-Lampen, die eine höhere Lichtstromausbeute pro Aufnahmeleistung aufweisen,
- sowie durch den Ersatz der konventionellen Vorschaltgeräte durch elektronische Vorschaltgeräte, die eine wesentlich geringere Verlustleistung verursachen.

Einen Überblick über die technischen Unterschiede der alten und neuen Beleuchtung gibt Abbildung 1.

In den naturwissenschaftlichen Fachklassenräumen war eine dimmbare Beleuchtung gefordert. Hier kam ein Lichtmanagementsystem zum Einsatz, das das Kunstlicht dem Tageslichteinfall anpasst. Je heller die Sonne scheint, desto mehr regelt das System den Kunstlichtanteil nach unten. Um zu verhindern, dass die Beleuchtung auch dann eingeschaltet ist, wenn keine Nutzer im Raum sind, verfügt das Beleuchtungssystem auch über einen Anwesenheitssensor. Bleibt der Klassenraum leer, stellt der Sensor das Licht automatisch nach einigen Minuten ab.

Abbildung 10: Technische Unterschiede zwischen alter und neuer Beleuchtung

Technische Unterschiede zwischen der alten und neuen Beleuchtung	
<b>vorher: opale Wanne</b>	<b>nachher: Spiegelrasterleuchte</b>
	
<b>Unterschied</b>	
konventionelles Vorschaltgerät	elektronisches Vorschaltgerät
nicht verspiegelter Lampenboden	Spiegelraster
zwei gewöhnliche Leuchtstoffröhren	eine Dreibanden-Leuchtstoffröhre (T5-Technik)
<b>Leistungsvergleich</b>	
<b>Leistungsaufnahme der Leuchte</b>	
142 Watt	35 Watt
<b>Leuchtenwirkungsgrad</b>	
50%	65%
<b>Leistungseinsparung</b>	
---	75%

Auf der **wirtschaftlichen** Seite stellt sich für ein einfaches Klassenzimmer folgendes Ergebnis ein:

Eine Leuchte kostet inklusive Demontage, Montage und Leuchtmittel rund 100 Euro netto. Unter Vernachlässigung der Planungskosten ergibt sich bei einer Vertragslaufzeit von zwanzig Jahren und einem Kapitalzins von 6 Prozent ein Annuitätsfaktor von 8,7 Prozent. Dies bedeutet, dass der Investition von 100 Euro jährliche Einnahmen von 8,7 Euro entgegenstehen müssen, damit über die Vertragsdauer der Kredit in gleichen Raten zurückgezahlt werden kann.

Tatsächlich ergibt sich folgende Ersparnis: Pro Leuchte errechnet sich eine Leistungseinsparung von 107 Watt. Bei einer Benutzungsdauer von 500 Stunden wird somit eine Stromeinsparung von 54 kWh pro Jahr erreicht. Bei einem Arbeitspreis von 8 Cents/kWh Strom errechnet sich hieraus zunächst eine Einsparung von 4,3 Euro pro Jahr. Neben der reinen Arbeitseinsparung wird jedoch im Regelfall auch Leistungsbezug eingespart.

Diese Leistungskosten betragen 48 Euro pro kW und Jahr. Wir gehen davon aus, dass 80 Prozent der Beleuchtungsleistung zur Spitzenlast beiträgt. Umgekehrt kann durch eine neue Leuchte beim Leistungsbezug rund  $0,8 \cdot 107$  Watt eingespart werden. Dadurch verringern sich die Leistungsbezugskosten pro Lampe um 4,10 Euro jährlich. Insgesamt wird so die Stromkostenrechnung der Schule pro Leuchte und Jahr um rund 8,40 Euro reduziert werden (Summe aus Arbeits- und Leistungseinsparung). Da die Kapitalkosten wie oben dargelegt bei einer Verzinsung von 6 Prozent 8,70 Euro im Jahr betragen, ist diese Maßnahme bei den gegebenen bzw. angenommenen Rahmenbedingungen knapp wirtschaftlich.

### 3.2.3 Turnhalle und Aula

In der Turnhalle wurde die Beleuchtung ebenfalls komplett erneuert. Dabei wurde das Beleuchtungsniveau von 200 auf 400 Lux angehoben. Da für den Schulsport 200 Lux ausreichen, wird die volle Beleuchtung nur bei Wettkämpfen genutzt. Um dies sicher zu stellen, gibt es einen Schlüsselschalter, der vom Hausmeister betreut wird.

Um eine unnötige Beleuchtung der Turnhalle zu verhindern wurden zwei Präsenzmelder eingebaut. Können diese Bewegungsmelder keine Aktivitäten feststellen, so wird mit einer gewissen Verzögerungszeit das Licht abgestellt.

Weiterhin wurden sowohl die Aula, als auch die Turnhalle mit einer tageslichtabhängigen Regelung ausgestattet: Je mehr Tageslicht in die Räume fällt, desto mehr verringert sich der Kunstlichtanteil.

### 3.2.4 Flure und WCs

In den Fluren wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- a) ein Teil der benötigten Leuchtkörper wurde durch technisch effizientere Leuchten ersetzt (T5-Technologie wie in den Klassenzimmern). Dabei wurden die Leuchten zum Teil auch versetzt, um eine bessere Ausleuchtung zu erzielen.
- b) ein anderer Teil der Leuchtkörper wurde entfernt.
- c) An den Treppenaufgängen wurden Rundleuchten installiert, die mit je zwei Kompaktleuchtstofflampen á 20 Watt bestückt sind.

### 3.2.5 Zusammenfassung Beleuchtung

Die Gesamtinvestitionen der Beleuchtung belaufen sich auf rund 90.000 Euro. Durch die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen lassen sich insgesamt rund 45 kW an Leistungsbezug sowie rund 35.000 kWh Strombezug einsparen.

Pro Schüler ergibt sich somit eine Leistungseinsparung von rund 63 Watt sowie eine jährliche Einsparung von rund 50 kWh.

Hierbei sind die zu erwartenden Verhaltensänderungen durch Lehrer, Schüler und Hausmeister noch nicht berücksichtigt.

## 3.3 Optimierung der Heizkreisläufe sowie der Regelungstechnik

Im Rahmen des Pilotprojektes der 100.000 Watt-Solar-Initiative wurde nicht nur die Heizungsanlage des Aggertal-Gymnasiums von Grund auf erneuert, sondern die Verteilung des Heizungswassers auf die einzelnen Räume unter die Lupe genommen. Der daraufhin erfolgte hydraulische Abgleich des Wärmeverteilungssystems konnte letztlich vor allem durch die konsequente Analyse und Planung sowie die kooperative Zusammenarbeit mit einem engagierten Handwerksbetrieb erfolgreich bewältigt werden.

### 3.3.1 Hydraulischer Abgleich

Zu Beginn der Analyse wurde aus den letzten drei Betriebsjahren ein durchschnittlicher Wärmeverbrauch der Schule von etwa 1.280 Megawattstunden (MWh) pro Jahr festgestellt. Ein Schüler verbrauchte also umgerechnet etwa zwei Megawattstunden an Wärme, die durch die Verfeuerung von Gas aufgebracht werden musste. Ein Indiz für den schlecht einregulierten Zustand der Wärmeverteilung am Gymnasium war, dass die Heizungsumwälzpumpen etwa ein Viertel der gesamten Strombedarfs der Schule ausmachten. Damit lag der Pumpstrombedarf um den Faktor 2,5 höher als bei gut abgeglichenen Anlagen vergleichbarer Größenordnung. Nach einer detaillierten Untersuchung der installierten Pumpen konnte folglich mit möglichen Stromeinsparungen von wenigstens 60 Prozent ausgegangen werden. Auch durch bedarfsgerechtere Verteilung der Wärme sollten Einsparungen in der Größenordnung von zehn Prozent zu erwarten sein.

Das Heizungssystem im Aggertal-Gymnasium ist durch ein komplexes und weit verzweigtes Netz von Heizungsrohren gekennzeichnet, in dem das heiße Wasser in der Schule verteilt wird, bis es zu den Heizkörpern gelangt und dort die Wärme an die Raumluft abgeben kann. Der Weg des heißen Wassers dorthin wird Vorlauf und der des kühleren Wassers zurück zu den Heizkesseln entsprechend Rücklauf genannt. In diesem Kreislauf sind die elektrisch betriebenen Umwälzpumpen für eine ausreichende Zirkulation des Heizungswassers im Rohrnetz verantwortlich. Viele Ventile unterschiedlicher Größe sollen dafür sorgen, dass alle Räume möglichst gleich schnell gleich warm werden, egal wie weit weg sie sich von der Heizungsanlage befinden. Neben einer guten Wärmedämmung und Dimensionierung der Heizungsrohre sowie der Heizkörper ist das Zusammenspiel von Pumpen und Ventilen ausschlaggebend dafür, wie gut die Wärmeversorgung funktioniert, wie viel Wärme abseits der Heizkör-

per verloren geht und wieviel Pumpenstrom unnötigerweise aufgewendet wird.

**Grundlagen: Hydraulischer Abgleich / Umwälzpumpenoptimierung von Heiznetzen**

Unter der ‚hydraulischen Einregulierung‘ - auch *hydraulischer Abgleich* - versteht man die Begrenzung der Wasservolumenströme in Rohrnetzen auf die Werte, welche dem errechneten Wärme- oder Kältebedarf der Anlage entsprechen.

Der hydraulische Abgleich von Rohrleitungen in Gebäuden ist eine ökonomische und ökologische Notwendigkeit. Dies wird auch in einschlägigen VDI-Richtlinien (z.B. VDI 2073) und DIN-Normen und Verordnungen (z.B. VOB/C-DIN 18380) gefordert.

Schätzungsweise 80 bis 85 Prozent des gesamten Gebäudebestandes in Deutschland ist nicht hydraulisch abgeglichen. Das bedeutet, dass in den Rohrnetzen der Heizanlagen unnötig große Wasservolumenströme umgewälzt werden. Die Folgen sind ein zu hoher Energieaufwand durch die in der Regel ohnehin drei- bis vierfach überdimensionierten Umwälzpumpen einerseits und 10 bis 15 Prozent vermeidbare zusätzliche Wärmeverluste im Verteilnetz andererseits. Die erreichbare Stromeinsparung im bundesweiten Gebäudebestand, die durch einen hydraulischen Abgleich, eine optimierte Pumpenauswahl und vor allem den bedarfsabhängigen Betrieb der Umwälzpumpen erzielbar ist, kann mit etwa 8,5 Terawattstunden (TWh) pro Jahr angegeben werden.

Hydraulisch nicht abgeglichene Heiznetze sind gekennzeichnet von Über- und Unterversorgungen von Heizkörpern. Häufig kommt in höheren Stockwerken kaum noch Wärme an, während in heizungsnahen Räumen mehr Heizungswasser umgewälzt wird, als zur Bereitstellung einer behaglichen Raumwärme notwendig ist. Abhilfe wird oft mit einer Erhöhung der ohnehin schon zu hohen Pumpenleistung geschaffen, was dieses Problem nur noch verstärkt.

Abbildung 11 Ungleichmäßige Wärmeabgabe in den einzelnen Räumen



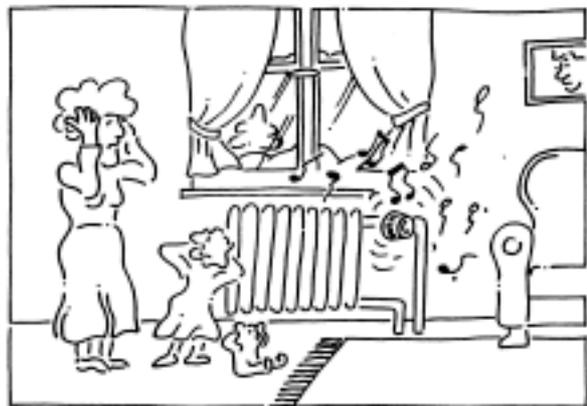
Quelle: F.W. Oventrop GmbH & Co. KG

Eine effizientere Lösung kann durch den hydraulischen Abgleich (siehe Kasten) erzielt werden. Dabei erfolgt eine geschickte Wahl und Kombination verschiedener Abgleichorgane, welche die Wassermengen nach Bedarf regulieren. Dadurch werden insbesondere in den

Aufheiz- und Wiederanheizphasen deutliche regeltechnische Vorteile erzielt.

Durch die Installation von „Strangregulierventilen“ wird eine Begrenzung der Wassermengen in den Nebenschleifen erreicht. In weit verzweigten Netzen sorgen zusätzliche dezentrale *Differenzdruckregler*, insbesondere im Teillastbetrieb, für eine strangweise Ausregelung der entstehenden Druckschwankungen. Die Begrenzung der Wassermengen in den einzelnen Heizkörpern des Heiznetzes erfolgt durch *voreinstellbare Thermostatventile*. An ihnen können die Installateure zunächst den maximal zulässigen Differenzdruck einstellen und dadurch sicherstellen, dass andere, ungünstiger gelegene Räume nicht unterversorgt werden. Durch diese Begrenzung (ideale Werte: 60 bis 100 mbar) wird außerdem, oft jedoch erst in Kombination mit den anderen aufgeführten Abgleichorganen, das lästige „Strömungsrauschen“ vermieden.

Abbildung 12: störendes Strömungsrauschen am Heizkörper



Quelle: F.W. Oventrop GmbH & Co. KG

Thermostatventile sind sehr wirkungsvolle Energiesparer, da sie die Heizungswasserzufuhr in Abhängigkeit von der gewünschten Raumtemperatur regeln. Zu recht sind sie mittlerweile Standard. Ihr Nachteil: Sie versagen bei offenen Fenstern, da die Temperaturfühler sensibel auf kalte Frischluft reagieren. Sinnvoll sind deshalb kurze Stoßlüftungen bei weit offenen Fenstern und abgedrehten Thermostatventilen.

Eine gründliche Rohrnetzrechnung ist unabdingbar als Planungsgrundlage für die Wahl und Dimensionierung der einzelnen hydraulischen Elemente. Nur so kann auch sicher bestimmt werden, welche Pumpenleistung in einem Heizungssystem erforderlich ist. Ein Ergebnis kann wie am Aggertal-Gymnasium sein, dass viele eingebaute Ventile und Pumpen gar nicht für den Betrieb der Anlage erforderlich sind.

Abbildung 13 : Ausgebaute Umwälzpumpen und Armaturen (Hauptverteilung)



Die hydraulische Optimierung am Aggertal-Gymnasium umfasste folgende Einzelmaßnahmen:

- Umfassende Vorortaufnahme des bestehenden Rohrnetzes mit nachfolgender Rohrnetzrechnung sowie der Erstellung eines Rohrnetzschemas mit den Voreinstellwerten der hydraulischen Abgleichorgane (Heizkörper usw.) durch ein Ingenieurbüro.
- Hydraulischer Abgleich aller installierten Heizkörper mittels der Nachrüstung voreinstellbarer Thermostat-Ventile sowie deren Einstellung nach Rohrnetzschemata.
- Zusätzliche Installation von Strangregulierventilen und Differenzdruckreglern im Rücklauf sowie Installation von Motorclappen zur bedarfsabhängigen Abschieberung nicht benötigter Heiz- und Zuhängerkreise.
- Umbau der 3-Wege-Mischer an den Lüfterheizern der beiden Lüftungsanlagen der Schule zur Vermeidung eines hydraulischen Kurzschlusses (Reduzierung der Beimischmengen).
- Ausbau nicht benötigter Armaturen und Rohrleitungen sowie - bis auf eine Pumpe - Ausbau aller Sekundärpumpen in der Hauptverteilung und den beiden Unterverteilungen.
- Ersatz der bisherigen überdimensionierten Hauptpumpen in der Hauptverteilung durch zwei drehzahlgeregelte Trockenläufer-Pumpen (Leistung:  $2 \times 0,55$  kW).

Nach Umbau und Einstellung der einzelnen Elemente erfolgt eine Optimierung des Systems über eine komplette Heizperiode. Aufgrund der bisher vorliegenden

Erfahrungen dürfte die ursprünglich errechnete Einsparung noch deutlich überboten werden.

### 3.3.2 Planungsdetails und Wirtschaftlichkeit

Die vom beauftragten Ingenieurbüro durchgeführte Rohrnetz-Berechnung ergab eine erforderliche Pumpenleistung von ca. 1,1 Kilowatt. Sie wurde auf zwei Einzelpumpen à je ca. 0,55 Kilowatt aufgeteilt. Zusammen mit einer weiteren kleinen Pumpe, die zur Versorgung der weit entfernten Aula belassen wurde, beträgt nun die gesamte installierte Pumpenleistung 1,2 Kilowatt. Zum Vergleich: Ursprünglich waren Pumpen mit einer Leistung von sechs Kilowatt installiert.

Im überwiegenden Teillastfall vor allem in der Übergangszeit bzw. bei abgesenktem Heizbetrieb reicht üblicherweise die Heizwasserumwälzung durch eine der beiden neuen Hauptpumpen aus. Die einzelne Pumpe kann bei abgesenktem und unterbrochenem Heizbetrieb mit minimierter Drehzahl betrieben werden. Eine elektronische Steuerung ermöglicht den regelmäßigen Wechsel beider Pumpen. Durch die Installation zusätzlicher externer Drucksensoren (Differenzdruckgeber) in den Vor- und Rücklauf der Hauptverteilung wird ein effizienter Betriebsmodus erreicht, der sich nach der an den einzelnen Heizkörpern abgeforderten Wärme richtet.

Die Ausfallsicherheit wird mit Blick auf den überwiegenden Teillastfall über die jeweilige zweite Pumpe ausreichend gewährleistet.

Abbildung 14: Neue drehzahlgeregelte Hauptpumpen.



Die Gesamtkosten für die komplette hydraulische Sanierung des Heiznetzes (ohne Regeltechnik und Warmwasserbereitung) betragen etwa 35.000 Euro. Die erwarteten Stromeinsparungen dürften nach den bisherigen Zählerablesungen bei ca. 25.000 kWh pro Jahr liegen; dies entspricht einer Stromeinsparung um etwa 85 Prozent und liegt somit über den Erwartungen. Die erreichte Wärmeenergieeinsparung kann mit etwa 10 Prozent des bisherigen Wärmeenergieverbrauchs ( $\approx$  ca. 130.000 kWh) abgeschätzt werden: Ebenfalls ein positives Ergebnis. Somit werden sich hydraulische Sanierung und Pumpenoptimierung etwa nach sechs bis sieben Jahren amortisiert haben. Belastbare Ergebnisse werden nach Ende einer vollen Heizperiode im Frühjahr 2003 vorliegen.

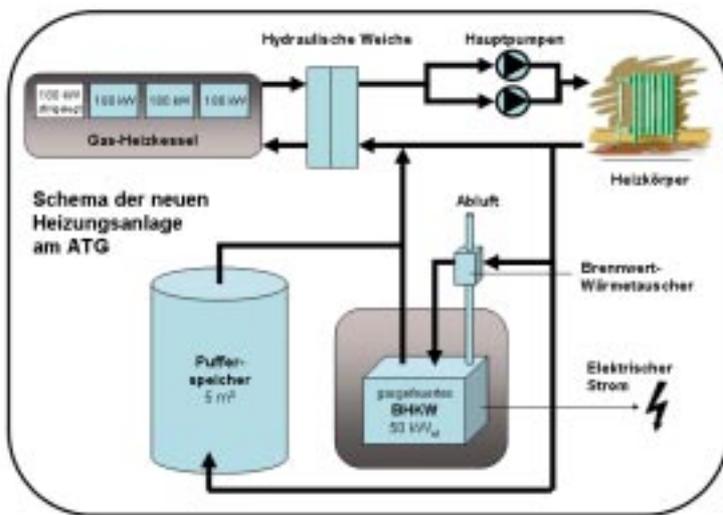
### 3.4 Wärmeversorgungskonzept und Blockheizkraftwerk

#### 3.4.1 Der Wärmebedarf der Schule

Das Aggertal-Gymnasium hat, wie die meisten Schulen dieser Bauperiode, einen sehr schlechten baulichen Wärmeschutz. Die Baukonstruktion der Außenbauteile wie Dächer und Wände führt zu vergleichsweise hohen Wärmeverlusten. Gebäudeanschlussfugen und alte Fensterkonstruktionen sind nicht luftdicht.

Im Rahmen der Dachsanierung unterhalb der Solaranlage wurde hier auch die Wärmedämmung wesentlich verbessert. Dadurch wurde nicht nur der Wärmebedarf verringert, sondern auch die Behaglichkeit in den Räumen deutlich erhöht.

Abbildung 15: Schema der neuen Heizungsanlage



Eine weitere Sanierung der Außenbauteile wäre zum Zweck der Energieeinsparung der Emissionsminderung und auch der Komfortverbesserung wünschenswert. Die vergleichsweise hohen Sanierungskosten für die Fassade, die Dächer und die Fenster lassen sich aber nur zu einem geringen Teil aus der Energieeinsparung refinanzieren. So wird wohl auch noch auf lange Sicht der hohe Wärmebedarf hingenommen werden müssen.

Die Versorgung der Schule erfolgte vor der Sanierung über vier atmosphärische Erdgaskessel mit einer Gesamtleistung von 720 kW. Der Bedarf des Schulkomplexes an warmem Brauchwasser ist vergleichsweise gering. Die selten benutzten Duschanlagen der Turnhalle werden zur Zeit noch über einen 1.500 Liter Brauchwasserspeicher mit Warmwasser versorgt. Einzelne verteilt gelegene Verbrauchsstellen verfügen über Untertischgeräte und Elektrodurchlauferhitzer. Wegen des Warmwasserbedarfes im Sommer musste bisher auch außerhalb der Heizperiode mindestens eine der vier Kesselzellen und die Fernwärmeleitung von der Schule zur Turnhalle in Betrieb gehalten werden und verursachte in dieser Zeit erhebliche Wärmeverluste. Der Gesamtwirkungsgrad der Warmwasserbereitstellung war daher sehr schlecht.

#### 3.4.2 Das Wärmeversorgungskonzept

Basierend auf der vorstehend erläuterten Erkenntnis, dass eine wärmetechnische Sanierung der Schule auf absehbare Zeit nicht möglich sein wird, wurde ein ökonomisch wie ökologisch tragfähiges Wärmeversorgungskonzept erarbeitet. Das Konzept basiert im Wesentlichen auf den nachfolgenden Komponenten:

- Bau und Betrieb eines BHKW mit einer elektrischen Leistung von 49 kW
- Erstellung und Optimierung einer DDC-Regelanlage
- Sanierung der Warmwasserbereitung

Die dezentralen elektrischen Warmwasserbereitungsgeräte werden vorerst wegen der geringen Benutzungsfrequenz und mangels sinnvoller Alternativen beibehalten. Kern des Wärmeversorgungskonzeptes ist die Deckung der im Moment unvermeidlichen Wärmeverluste auf möglichst umweltfreundlichem und kostengünstigem Wege.

#### 3.4.3 Das Blockheizkraftwerk

Die konventionelle Stromerzeugung, ob im Kohlekraftwerk, im Gaskraftwerk oder auch im Kernkraftwerk weist physikalisch bedingt eine schlechte Energiebilanz auf. Lässt man einige im Moment noch exotische Neuentwicklungen außer Betracht, wird der Strom in einem großen Teil der deutschen Kraftwerke mit Wirkungsgraden von 33 bis 35 Prozent erzeugt. Das bedeutet, dass etwa 2/3 der eingesetzten Brennstoffenergie im Kraftwerkspark nicht in Strom, sondern in Abwärme umgewandelt werden. Diese wird dann über große Kühltürme oder ein naheliegendes Gewässer an die Umwelt abgeführt. Ein 1.300 MW Kernkraftwerk produziert somit neben 1.300 MW elektrischer Leistung auch permanent etwa 2.600 MW Abwärme. Die großen Abwärmeströme konventioneller Kraftwerke können nur selten mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand einer sinnvollen Nutzung zugeführt werden.

In einem Blockheizkraftwerk wird im Kleinen wie in einem Großkraftwerk elektrische Energie erzeugt. Bei Blockheizkraftwerken fällt, physikalisch bedingt, ebenfalls Wärme an. Diese Wärmemengen können jedoch bei richtiger Dimensionierung unschwer in ein Heizungssystem eingekoppelt werden und damit die Emissionen der konventionellen Heizungsanlage in weiten Teilen überflüssig machen. Das beheizte Gebäude, hier das Aggertal-Gymnasium, funktioniert für die Stromerzeugung dann wie der Kühlturm eines Großkraftwerks.

Im Aggertal-Gymnasium wurde das BHKW im Heizraum an Stelle eines stillgelegten Heizkessels angeordnet.

Es produziert während der Heizperiode für etwa 4500 bis 5000 Stunden pro Jahr elektrische Energie mit einer Leistung von 49 kW. Die anfallende Abwärme wird über Ölkühler, Generatorkühler, Abgaswärmetauscher und auch über einen zusätzlichen Brennwärmetauscher zurückgewonnen und in die Heizungsanlage einspeist. Der Wärmeleistungsanteil beträgt mit etwa 110 kW nur etwa 15 Prozent des Gesamtwärmeleistungsbedarfes der Schule. Da Tage mit sehr

niedrigen Außentemperaturen und damit resultierend hohem Wärmebedarf in unseren Breiten sehr selten sind, übernimmt das BHKW jedoch einen großen Teil der effektiv zu erbringenden Wärmearbeit.

#### Was ist ein Blockheizkraftwerk?

Ein Blockheizkraftwerk (kurz BHKW) ist eine kleine Stromerzeugungsanlage, ein kleines Kraftwerk. Mit Hilfe eines Motors wird in einem BHKW ein Generator angetrieben, der elektrische Energie erzeugt und ins Netz speist. Zum Antrieb des Motors werden Erdgas oder Heizöl, aber auch alternative Brennstoffe, wie Rapsöl oder Klärgas eingesetzt. Bei Erdgasmotoren kommt meist ein Katalysator zur Abgasreinigung zum Einsatz. Die Abwärme des Motors wird über Wärmetauscher in die Heizungsanlage gespeist. Während der Stromproduktion funktioniert das BHKW somit auch als Heizkessel. Durch die gleichzeitige Produktion von elektrischem Strom und Nutzwärme (Kraft-Wärme-Kopplung) liegen die Gesamtwirkungsgrade dieser Anlagen allgemein bei über 80 Prozent; der anteilige Wirkungsgrad der Stromerzeugung liegt bei 25 bis 38 Prozent. Blockheizkraftwerke gibt es in Größen von 5 kW bis zu einigen 1000 kW.

#### 3.4.4 Erstellung des Blockheizkraftwerkes

Mit Bau und Betrieb des Blockheizkraftwerkes engagierte sich der regionale Stromversorger, die Stromversorgung Aggertal GmbH (kurz: Aggerstrom). In einem Vertrag mit der Gemeinde Engelskirchen wurden ein Teil der aus dem Betrieb entstehenden Kostenvorteile der Gemeinde zugeteilt, die diese in die Projektfinanzierung einbringt. Die Lieferung von Wärme erfolgt zu den Bedingungen der vermiedenen Wärmekosten aus der Kesselanlage.

Abbildung 16: BHKW-Modul während der Einbringung mit dem Autokran (noch ohne Schallschutzhaube)



Da die erzeugte elektrische Energie des Blockheizkraftwerkes den verbleibenden Bedarf der sanierten Schule deutlich übersteigt, erfolgt die Einbindung des BHKW direkt in das Netz der Aggerstrom, die diesen an Ihre anderen Kunden vertreibt. Die Lieferung des elektrischen Energiebedarfes der Schule erfolgt dann auch direkt aus dem Aggerstromnetz, natürlich bevorzugt aus dem BHKW. Die Problematik der Anbindung des BHKW-Betriebes an die elektrischen Lastspitzen der Schule stellt sich in dieser Konstellation nicht.

Das Blockheizkraftwerk wurde auf einem eigenen Fundament im Heizraum der Schule installiert. Die wärme-seitige Einbindung erfolgt parallel zum Rücklauf der

Heizungsanlage (siehe Schema). Dabei durchströmt das von den Heizkörpern abgekühlte Rücklaufwasser zuerst den Brennwertwärmetauscher, um das niedrigstmögliche Temperaturniveau im System zur Wärmegewinnung aus der Kondensationswärme der Abgase zu nutzen. Diese Schaltung hat sich bereits in der Praxis bewährt; die gemessenen Abgastemperaturen lagen je nach Betriebszustand der Heizungsanlage teilweise unter 50 °C. Nach Durchströmung des Brennwerttauschers gelangt das Heizungswasser in die Tauscher des Blockheizkraftwerkes und wird mit der Abwärme des Motors erwärmt.

Abbildung 17: BHKW-Modul fertig installiert im Keller des ATG



Stellt sich dabei nicht die von der Regelung vorgegebene Vorlauftemperatur für die Schulbeheizung ein, werden mit zeitlichem Versatz erst der ebenfalls neu installierte, fünf Kubikmeter große Pufferspeicher und dann die einzelnen Kesselzellen zur Wärmeabgabe freigegeben.

Verringert sich die Wärmeanforderung (z.B. mittags zum Schulschluss), werden erst die Kesselstufen gesperrt. Ist das Wärmeangebot des Blockheizkraftwerkes dann immer noch zu hoch, wird der Pufferspeicher wieder mit warmem Heizungswasser gefüllt, bevor der Motor ausgeschaltet wird.

Das BHKW ist aus Gründen des Lärmschutzes in einer schalldämmten Box untergebracht. So liegen die Schallemissionen deutlich unter denen eines Heizkessels mit Gebläsebrenner. Außerhalb des Heizraumes sind sie nicht wahrnehmbar. Die Luftschadstoffemissionen des ohnehin schadstoffarmen erdgasbetriebenen Motors werden durch den nachgeschalteten Katalysator nochmals weiter reduziert.

#### 3.4.5 DDC-Anlage

Zur Verbesserung des Heizungsbetriebes und zur Optimierung des BHKW-Einsatzes wurde eine leistungsfähige digitale Regelungsanlage (DDC-Anlage<sup>3</sup>) installiert. Diese betreibt die einzelnen Heizkreise so, dass die Anheiz- und Absenkezeiten bei verschiedenen Außentemperaturen variabel gehandhabt werden können. Soll z. B. ein Klassenraum um 8.00 Uhr die Solltemperatur erreichen, so wird er bei einer Außentemperatur von 12°C um 07.30 Uhr zur Beheizung freigegeben. Bei einer Außentemperatur von 0°C sorgt die Regelung für eine etwa zweistündige Vorwärmphase.

<sup>3</sup> DDC = Direct-Digital-Control

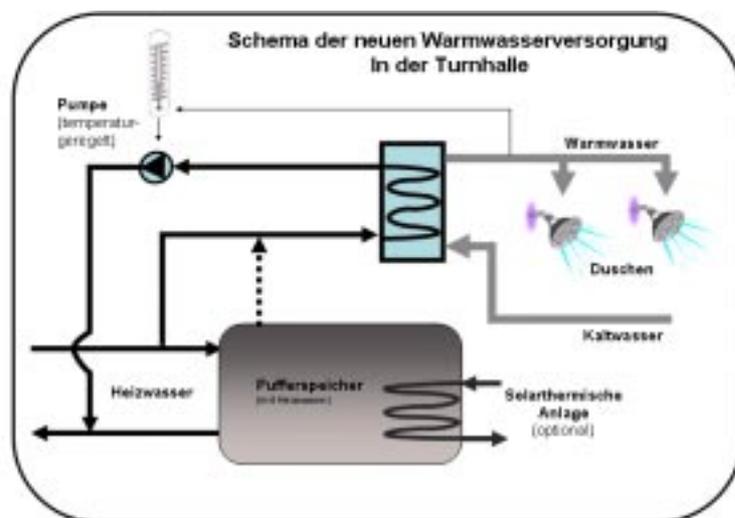
Die Vorlauftemperatur wird nur zentral für alle Heizkreise geregelt, die Regelung der Wärmeleistung erfolgt über die Raumthermostate. Die Absenkephase wird nach unten begrenzt durch einzelne Referenz-Raumtemperaturfühler, die bei Erreichen einer Mindesttemperatur die Beheizung wieder freigeben.

Durch planmäßige Aufteilung der Heizzeiten und bewusste Nutzung der Gebäudespeichermasse wird die erforderliche Heizleistung reduziert und der Anteil des Blockheizkraftwerkes an der Wärmebereitstellung deutlich erhöht. Ein willkommener Nebeneffekt ist die Reduzierung des erforderlichen Leistungsbedarfes der Heizkessel und die daraus resultierende Einsparung an Gasbereitstellungskosten.

### 3.4.6 Die Sanierung der Brauchwasserbereitung

Neben einigen Kleinverbrauchsstellen, die durchweg über elektrisch beheizte Warmwassergeräte verfügen, wird warmes Wasser vor allem im Turnhallenbereich benötigt.

Abbildung 18: Schema der Warmwasserversorgung in der Turnhalle



Hier ist ein liegender Warmwasserspeicher mit 1.500 l Inhalt installiert, der die Duschen der Turnhalle vor der Sanierung mit warmem Wasser versorgte. Der Speicher ist über eine etwa 150 m lange Fernwärmeleitung an die Heizungsanlage angebunden und wird über ein Rohrbündel beheizt.

Die Verbrauchsstellen liegen nochmals etwa 30 m vom Speicher entfernt, so dass für einen ausreichenden Duschkomfort ständig eine Zirkulation in Betrieb gehalten werden musste. Da die Fernwärmeleitung während der Sommermonate nur wegen der Brauchwasserbereitung in Betrieb gehalten wurde, kann un schwer abgeschätzt werden, dass die Verluste der Warmwasserbereitung den Bedarf an Nutzwärme weit überstiegen. Aus diesem Grund wurde eine vollständige Neukonzeption der Warmwasserbereitung vorgenommen, die geringen Energieverbrauch mit Komfort und hygienischen Überlegungen kombiniert.

Die Realisierung erfolgte durch Umbau des 1.500 Liter fassenden Speichers zu einem reinen Heizwasserspeicher, der mit Heizwasser von 60 – 90°C beladen wird. Er dient von nun an als zweiter Pufferspeicher zur

Verstärkung des Betriebs der gesamten Heizungsanlage.

Sobald und solange die Duschräume benutzt werden, sorgen Bewegungsmelder dafür, dass das gespeicherte Heizwasser über eine groß dimensionierte Pumpe vom Speicher durch einen hochleistungsfähigen Plattenwärmetauscher in direkter Nähe der Duschräume gepumpt wird. Hierin wird kaltes Leitungswasser im Moment der Bedarfes auf Duschtemperaturen erwärmt. Die Regelung der Warmwassertemperatur erfolgt über ein elektronisches Regelgerät exakt und verbrühungssicher. Einhergehend werden auch die Zirkulationswärmeverluste und der Pumpenstrombedarf auf ein Minimum reduziert. Die Wasserhygiene ist durch den vollständigen Verzicht auf Warmwasserbevorratung nahezu optimal; die Entstehung von Legionellen ist so beispielsweise völlig ausgeschlossen.

Die Beladung des umgebauten Pufferspeichers mit ausreichend heißem Heizungswasser wird mit Hilfe der DDC-Steuerung optimiert. Die Steuerung sorgt vor allem dafür, dass BHKW und Heizkessel nur sporadisch anlaufen müssen. Durch diese diskontinuierliche Betriebsweise wird auch die lange und deshalb durch hohe Wärmeverluste gekennzeichnete Fernwärmeleitung nur noch wenig benötigt. Die Steuerung sorgt ebenfalls dafür, dass die Gebäudeheizung zu Spitzenlastzeiten Vorrang vor der Beladung des 1.500-Liter-Speichers hat: Dadurch werden die Räume schneller warm und die Bezugsleistung von Gas wird reduziert.

### 3.4.7 Erschließung weiterer wirtschaftlich darstellbarer Energieeinsparpotenziale

Neben den bereits erwähnten Stromverbrauchern wie Heizungspumpen und Beleuchtungsanlagen sorgt eine Vielzahl von Einzelverbrauchern für die verbleibende Grundlast des Strombedarfes. Im Einzelnen sind dies:

- Lüftungsanlagen
- Fotokopierer
- Bürogeräte wie elektrische Schreibmaschinen, etc.
- Kaffeemaschinen
- Dezentrale Warmwassergeräte
- Heizlüfter
- Kühlschränke
- Personal Computer
- Drucker, Scanner, Beamer, etc.
- Fernseher u.a. Geräte der Unterhaltungselektronik
- Töpferöfen

Die Lüftungsanlagen nehmen in dieser Liste als Geräte der Haustechnik einer Sonderrolle ein. Lüftungsanlagen sind zur Zeit installiert

- in der Aula (Betrieb als Turnhalle und für Veranstaltungen),
- in der Turnhalle und
- in der Abluft des Chemieraumes.

Wegen vorgesehener Planungen zur technischen Sanierung der Anlagen wurden hier noch keine Energiesparmaßnahmen umgesetzt. Im Rahmen der Sanierungen bestehen jedoch Konzepte zur Reduzierung des Lüftungsenergiebedarfes. Diese umfassen im Wesentlichen:

- Verzicht auf mechanische Lüftung, wo die undichte Gebäudehülle für hohe Luftwechsel sorgt
- Reduzierung des Lüftungseinsatzes auf das erforderliche Maß durch Einsatz luftqualitätsabhängiger Regelmehanismen
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- Einsatz wirkungsgradoptimierter Gebläse und strömungsoptimierter Kanalbauteile.

Die Maßnahmen an den Kleingeräten befinden sich zur Zeit noch in der Umsetzungsphase. Insbesondere sind geplant:

- Einsatz von Thermo-Stop-Geräten an den Warmwasserbereitern
- Aktivierung der Energiesparoptionen an den PC-Peripheriegeräten. Ggf. Einsatz von Energiespargeräten zur Deaktivierung von nicht benötigten Druckern etc.

Der sparsame Einsatz von Töpferöfen (im Hinblick auf eine bestmögliche Ausnutzung des Brennvorganges) lässt sich nur durch Sensibilisierung der nutzenden Lehrer verbessern. Eventuell kann auch der Betrieb zu den morgendlichen Stromlastspitzen der Schule durch Schaltuhren unterbunden werden. Der Betrieb von Heizlüftern und Kühlschränken ist in einem Schulgebäude weitgehend überflüssig. Hier kann nur durch Sensibilisierung der Nutzer eine Verbesserung erzielt werden.

Insgesamt ist bei den vorgenannten Anwendungen eine erhebliche Verbrauchsreduzierung mit vergleichsweise geringen Investitionen erreichbar. Der personelle Aufwand ist jedoch hoch, daher werden die Maßnahmen erst nach der Hauptumbauphase umgesetzt.

### 3.5 Maßnahmen zur Wassereinsparung

#### 3.5.1 Ausgangssituation/konkrete Wasserverbrauchskennwerte

Die jährlichen Wasserkosten des Aggertal-Gymnasiums betragen ca. 5.000 Euro. Erfahrungsgemäß sind hier nennenswerte Einsparungen mit einfachen Maßnahmen möglich, die sich in kurzer Zeit amortisieren. Hinzu kommt, dass mit der Naturressource Wasser durch eine nachhaltige Nutzung sparsam und rationell umgegangen werden kann.

Der typische mittlere Wasserverbrauch liegt für Gymnasien mit Turnhalle bei 176 Liter pro Bruttogeschossfläche (BGF) und Jahr. Ähnlich wie die Energieverbrauchskennwerte streuen auch die Wasserverbrauchskennwerte deutlich um diesen Wert, was von den sehr unterschiedlichen Gebäudegrößen sowie den verschiedenen technischen Ausstattungen und Nutzungsintensitäten der Gebäude herrühren dürfte<sup>4</sup>.

Unter Zugrundelegung einer Bruttogeschossfläche von 8.914 m<sup>2</sup> ergeben sich am Aggertal-Gymnasium die in Tabelle 1 dargestellten spezifischen Wasserverbräuche (Verbrauchskennzahlen)<sup>5</sup>.

Tabelle 1: Wasserverbrauch des Aggertal-Gymnasiums der Jahre 1999-2002

Abrechnungszeitraum	Verbrauch	spezif. Verbrauch
	in m <sup>3</sup>	in l/m <sup>2</sup> BGF
Mai 1999 bis April 2000	742	83,2
Mai 2000 bis April 2001	735	82,5
Mai 2001 bis April 2002	619	69,4

Der Wasserverbrauch an der Schule liegt somit deutlich unterhalb der typischen Mittelwerte. In den angegebenen Jahresmengen sind die jeweiligen Warmwasserverbräuche für die Turnhalle (Duschraum) sowie der sonstige Kleinverbrauch (Gebäudereinigung usw.) enthalten. Innerhalb der typischen Nutzungszeit (Schulzeiten ohne Ferien) ergibt sich für die Turnhalle im Jahr 2001 ein Warmwasserverbrauch von etwa 40 m<sup>3</sup>; daraus resultieren in den jeweiligen Nutzungsperioden (o. Ferien) mittlere Tagesverbräuche von etwa 200 Liter<sup>6</sup>.

#### 3.5.2 Durchgeführte/Vorgesehene Optimierungsmaßnahmen

Im Rahmen des Solar- und Sparprojektes am ATG wurden zur Reduzierung des bisherigen Wasserverbrauchs nachfolgend aufgeführte Optimierungen und Sparmaßnahmen vorgenommen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf möglichst wirtschaftlichen nicht- bzw. geringinvestiven Maßnahmen. Insgesamt wurden für die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen Investitionen in Höhe von etwa 1.200 Euro getätigt. Bei erwarteten Einsparungen von ca. 20 Prozent betragen die jährlichen Kosteneinsparungen etwa 1.000 Euro, womit sich diese Maßnahme sehr wirtschaftlich darstellt.

#### Einsparmaßnahmen beim Wasserverbrauch:

- Reduzierung der Wassermengeneinstellung (Druckspüler-/Spülkastenventile) bei zahlreichen WC-Spülungen und Urinalanlagen.
- Einbau bzw. Nachrüstung von druckunabhängigen Durchflussmengenbegrenzern bei den Waschtischarmaturen in den Klassenräumen usw. und Austausch defekter Perlatoren.
- Künftige regelmäßige Überprüfung der eingebauten Druckminderer der Kaltwasserzuleitungen; der Ruhedruck sollte dabei nicht höher als etwa 3,5 bis 4,0 bar sein; die einwandfreie Funktion der Druckspüler (WC) muss dabei sichergestellt sein.
- Künftige regelmäßige Überprüfung der Funktion von Duschköpfen und Armaturen (Hausmeister/künftig ggf. SchülerInnen)
- Künftige regelmäßige Überprüfung der Zählerstände von Wasserzählern und damit der Wasserverbräuche (d.h. Hausmeister und/oder ggf. SchülerInnen kontrollieren und protokollieren diese Systeme).

<sup>4</sup> Verbrauchskennwerte zitiert nach Lit.: AGES 1999: Verbrauchskennwerte 1999-Energie- und Wasserverbrauchskennwerte von Gebäuden der BR Deutschland. Hg.: ages GmbH, Münster 2000

<sup>5</sup> Hier wird die Netto-Grundfläche (NGF) der bekannten Reinigungsfläche (RF) gleichgesetzt; die BGF errechnet sich dann über „NGF : 0,88“ (s. Umrechnungsfaktoren in ages 1996/Anhang 9).

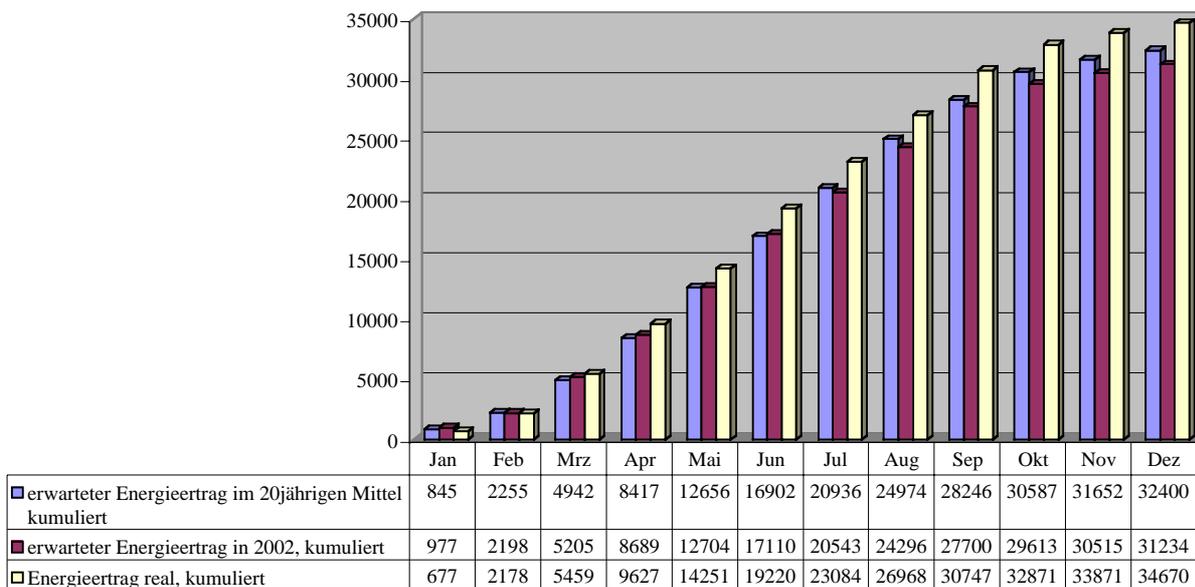
<sup>6</sup> Der Warmwasserverbrauchsanteil der Sporthalle am Trinkwasserverbrauch beträgt also etwa 6 Prozent.

In der Folge wird es darum gehen, den einmal erreichten Einsparstandard möglichst dauerhaft zu sichern. Das erwartete Wasser-Einsparpotenzial von ca. 20 Prozent kann zukünftig dauerhaft durch entsprechendes Verhalten und vor allem das kooperatives Zusammenwirken aller Beteiligten (Lehrer, Schüler und Hausmeister) sichergestellt werden.

Abbildung 19: Erwarteter und realer monatlicher Energieertrag der PV-Anlage am Aggertal-Gymnasium Engelskirchen 2002 (kumuliert)

den Solarstrom erzeugt, wie Abbildung 19 zeigt. Das sind rund zehn Prozent mehr, als nach den Wetterdaten von 2002 zu erwarten war. So werden nach den ersten zwölf Monaten auf der Grundlage des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) über 17.000 Euro in die Kasse der Trägergesellschaft fließen. In einer gemeinsam mit dem Wuppertal Institut Ende 2002 herausgegebenen Pressemitteilung sagte Engelskirchens Bürgermeister Wolfgang Oberbüscher zum Ergebnis des ersten Betriebsjahres: „Das Jahr geht, die ökologische Rendite kommt. Das sind allerbeste Aussichten für die Zukunft.“ Auch Prof. Dr. Peter Henicke, amtie-

**erwarteter Energieertrag kumuliert**



Monatssummen in kWh Solarstrom

Ein Teil der routinemäßigen Ables- und Überprüfungsarbeit könnte zukünftig von engagierten SchülerInnen – z. B. einem Energie- u. Umweltteam – übernommen werden. Das würde sich beim Thema „nachhaltige Wassernutzung am ATG“ positiv auf die Motivation und Verantwortlichkeit der NutzerInnen auswirken.

Andererseits könnte so auch der notwendige Überwachungsaufwand reduziert werden. Die Zielsetzung einer „nachhaltigen Wassernutzung“ sollte kommunikativ noch durch geeignete Appelle (Plakate dgl.) unterstützt werden. Außerdem sollte man den erreichten Nutzungsstandard zukünftig über eine geeignete Qualitätsprüfung absichern. Zusätzlich könnten Schüler und Lehrer auftretende Mängel und Unzulänglichkeiten an einzelnen Zapfstellen usw. auch über standardisierte Mängelerfassungsbelege dokumentieren und weitermelden sowie auch deren Beseitigung überprüfen.

**4 Stromertrag der PV-Anlage übertrifft die Erwartungen**

Nach dem ersten Betriebsjahr der Photovoltaikanlage steht fest: Der solare Stromertrag übersteigt deutlich die zugrunde gelegten Planwerte. Dies war möglich, obwohl die Wetterdaten des Jahres 2002 unter dem zwanzigjährigen Durchschnittswert lagen. Ende Dezember hatte die PV-Anlage über 34.000 Kilowattstunden

render Präsident des Wuppertal Instituts, war sehr zufrieden: „Der laufende Betrieb der Anlagen zeigt, dass Klimaschutz als Kapitalanlage funktioniert.“

Bei der Projektplanung wurde als Zielgröße zunächst eine Anlagenleistung von 40 kWp (Kilowattpeak) zugrunde gelegt. Aufgrund der guten Ausnutzung der Dachfläche beträgt nun die reale Anlagenleistung 43,2 kWp. Zur überschlägigen Errechnung des jährlichen solaren Energieertrags wurden konservativ 750 kWh pro installiertem Kilowatt und Jahr angesetzt, insgesamt also 32.400 kWh Solarstrom pro Jahr.

Zur Überprüfung des Solarertrags im ersten Betriebsjahr verwendete das Wuppertal Institut monatliche (satelliten- und bodengestützte) Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg. Mit deren Hilfe können die erwarteten Solarstrommengen mit dem realen Solarstromertrag verglichen werden. Die tatsächlich gelieferten Kilowattstunden werden durch die Wechselrichter direkt gemessen, mit einem Datenlogger ausgelesen und in einer Auswertungssoftware verarbeitet und visualisiert. Abweichungen oder Schwachpunkte in der Anlage können so schnell entdeckt und beseitigt werden. In Abbildung 19 werden die erwarteten und gemessenen monatlichen Stromerträge der ersten zwölf Betriebsmonate dargestellt.

## 5 Stromeinsparungen in der Schule

Wie weiter vorne dargestellt, hat die Trägergesellschaft Solar&Spar Contract GmbH & Co. KG im Aggertal-Gymnasium weitgehende Maßnahmen zur Stromeinsparung umgesetzt. Die gesamte Beleuchtungsanlage wurde erneuert. Zwei moderne und effiziente Pumpen ersetzen jetzt die bisher installierten Heizungspumpen. Insgesamt konnte so bereits im Jahr 2002 eine Stromersparung von 40 Prozent erzielt werden, obwohl die Pumpensanierung erst im Frühjahr 2002 abgeschlossen wurde. Weitere Einsparpotentiale schlummern in der Lüftungsanlage, die jedoch im Rahmen des Projektes nicht saniert werden konnte.

Addiert man zu den eingesparten 49.000 Kilowattstunden noch die Stromerzeugung aus Solarenergie hinzu (34.000 kWh), so wurden im Jahr 2002 insgesamt 83.000 kWh (rund 70 Prozent des ursprünglichen Strombedarfs) in der Schule eingespart oder mit Solarenergie erzeugt. Darüber hinaus produzierte das Blockheizkraftwerk im Keller der Schule im Jahr 2002 rund 198.000 kWh umweltfreundlichen Strom.

### Ist unser Kapital gut angelegt?

Die dargestellten Ergebnisse im Bereich der Einsparung und der Stromerzeugung spiegeln sich auch im finanziellen Ergebnis des Projektes wider.

Die Einnahmen liegen etwas über den geplanten Zahlen und im Bereich der Aufwendungen liegt das Projekt gut im Rennen:

## 6 Literatur

Berlo, Kurt; Seifried, Dieter: Klimaschutz als Kapitalanlage. Energiespar-Contracting mit Bürgerbeteiligung, in: Bemann/Schädlich (Hrsg.): Contracting Handbuch 2002, Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln 2002, S. 89 – 100.

Hennicke, Peter; Seifried, Dieter: Das Einsparkraftwerk. Basel, Berlin, Boston 1996

Hettgen, Dominic: Privates Kapital macht Öko-Schule möglich, in: VDI-Nachrichten v. 14.09.2001

Natur&Kultur Institut für ökologische Forschung und Bildung e.V. (Hrsg.): 100.000 Watt-Solar-Initiative für Schulen in NRW – EnergieSchule 2000+, in: Lebendes Lehrbuch Regenerative Energien, im Auftrag des Ministeriums für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln 2002, S. 79 – 81.

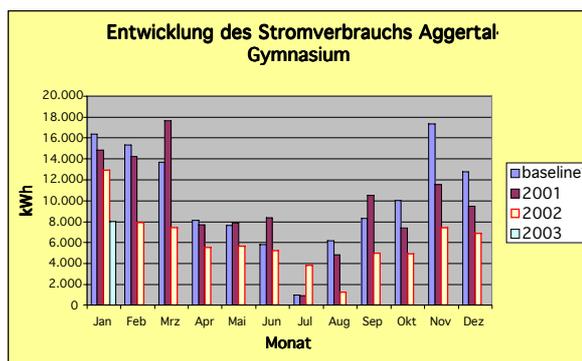
Seifried, Dieter: Klimaschutz als Kapitalanlage in: Zeitschrift Wechselwirkung (09/10 2001), S. 44-46

Witzel, Walter; Seifried, Dieter: Das Solarbuch, Fakten, Argumente, Strategien. Freiburg 2000

### Projekt-Video:

Das Wuppertal Institut hat ein ca. **20minütiges Projekt-Video** produziert. Es zeigt die einzelnen Projektphasen der energetischen Sanierung des Aggertal-Gymnasiums und lässt die verschiedenen Projektpartner mit fachlichen Erläuterungen und Einschätzungen zu Wort kommen. Die CD kann direkt beim Wuppertal Institut bestellt werden.

Abbildung 20: Stromverbrauch im Aggertal-Gymnasium im Vergleich zu den Vorjahren



Baseline: Durchschnittlicher Stromverbrauch der Jahre 1999 und 2000

Die Kosten für den aufgenommenen KfW-Kredit sind niedriger als geplant, da zum Zeitpunkt der Kreditaufnahme ein niedrigerer Zinssatz zur Wirkung kam. Das Projekt ist auf einem guten Weg: Sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Ziele wurden erreicht. Dies ist allerdings kein Grund, um sich zufrieden zurück zu lehnen. Nachdem die technische Sanierung weitgehend abgeschlossen ist, sind insbesondere auch im Bereich des energiebewussten Verhaltens weitere Anstrengungen notwendig, um das gute Ergebnis zu halten bzw. noch zu verbessern. In Kooperation mit den Schülern, Lehrern und dem engagierten Hausmeister werden wir diesen Weg weiter gehen.

**Kontaktadressen:**

Dr. Kurt Berlo, Solar&Spar Contract GmbH  
 c/o Wuppertal Institut,  
 Tel.: 0202 / 24 92 - 174,  
 Fax: 0202 / 24 92 - 198,  
 E-Mail: [kurt.berlo@wupperinst.org](mailto:kurt.berlo@wupperinst.org)  
 Internet: [www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

Dipl.-Ing. Gerhard Wohlauf, Wuppertal Institut,  
 Tel.: 0202 / 24 92 - 165,  
 Fax: 0202 / 24 92 - 198,  
 E-Mail: [gerhard.wohlauf@wupperinst.org](mailto:gerhard.wohlauf@wupperinst.org)

Dipl.-Ing./Dipl.-Volksw. Dieter Seifried  
 Büro Ö-quadrat, Freiburg,  
 Tel.: 0761 / 707 99 01  
 Fax: 0761 / 707 99 03  
 Turnseestr. 44  
 79102 Freiburg  
 E-Mail: [seifried@oe2.de](mailto:seifried@oe2.de)  
 Internet: [www.oe2.de](http://www.oe2.de)

Dipl.-Ing. Detmar Schaumburg,  
 Energiebüro Schaumburg  
 Schemmer Strasse 4  
 51709 Marienheide-Müllenbach  
 Tel.: 02264 / 200 182  
 Fax.: 02264 / 200 183  
 E-Mail: [info@energiebuero-schaumburg.de](mailto:info@energiebuero-schaumburg.de)  
 Internet: [www.energiebuero-schaumburg.de](http://www.energiebuero-schaumburg.de)

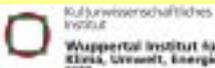
Aggertal-Gymnasium Engelskirchen  
 Schulleiter Dr. Klaus-Dieter Vilshöver  
 Olpener Str. 13  
 51766 Engelkirchen  
 Tel.: 02263 / 1225  
 Fax: 02263 / 47874  
 Internet: [www.gm.nw.schule.de/~atg](http://www.gm.nw.schule.de/~atg)

Landesinitiative Zukunftsenergien NRW  
 Dr. Frank-Michael Baumann (Geschäftsführer)  
 c/o Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung  
 des Landes Nordrhein-Westfalen  
 Haroldstraße 4  
 40213 Düsseldorf  
 Tel.: 0211 / 866 42-0  
 Fax: 0211 / 866 42-22  
 E-Mail: [baumann@energieland.nrw.de](mailto:baumann@energieland.nrw.de)  
 Internet: [www.energieland.nrw.de](http://www.energieland.nrw.de)

Gemeinde Engelskirchen  
 Bürgermeister Wolfgang Oberbüscher  
 Engelsplatz 4  
 51766 Engelskirchen  
 Tel.: 02263 / 83 151  
 Fax: 02263 / 1610  
 E-Mail: [wolfgang.oberbuescher@gemeinde-engelskirchen.de](mailto:wolfgang.oberbuescher@gemeinde-engelskirchen.de)  
 Internet: [www.gemeinde-engelskirchen.de](http://www.gemeinde-engelskirchen.de)

**Impressum:**

Herausgeber: Solar&Spar Contract GmbH  
 c/o Wuppertal Institut, Döppersberg 19, 42103 Wuppertal  
 Stand: April 2003, Auflage 300

<b>Projekträger:</b>	<b>Solar&amp;Spar Contract GmbH &amp; Co. KG Aggertal-Gymnasium Engelskirchen</b>	
<b>Projektpartner:</b>	<b>Gemeinde Engelskirchen und Stromversorgung Aggertal GmbH</b>	 
<b>Wissenschaftl. Begleitung:</b>	<b>Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH</b>	 
<b>Ein Projekt der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW</b>		
<b>Gefördert vom Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen</b>		
		

## Bürger-Contracting

Das Solar- und Sparprojekt kam durch das finanzielle Engagement folgender privater Kapitalgeber zustande:





Matthias Alex, Engelskirchen / Martin Andresen, Hamburg / Erwin Becker, Köln / Frieder Bock, Gummersbach / Jens Bock, Hamburg / Fritz Burkhardt, Hamburg / Jörg Deselaers, Engelskirchen / Hartmut Domay, Engelskirchen / Horst Döring, Engelskirchen / Julia Döring, Engelskirchen / Stefan Dörr, Drolshagen / Matthias Fischer, Schwabach / Monika Gottwald, Gummersbach / Erwin Greiler, Graz (Österreich) / Walbert Heuwes, Engelskirchen / Cornelia Hof, Engelskirchen / Bernward Janzing, Freiburg / Gertrud Jungblut, Jülich / Fabian Konrad, Engelskirchen / Niklas Konrad, Engelskirchen / Elke Lüdenbach, Engelskirchen / Jonas Lüdenbach, Engelskirchen / Judith Lüdenbach, Engelskirchen / Miriam Lüdenbach, Engelskirchen / Stefan Lukas, Engelskirchen / Angelika Mischer, Engelskirchen / Monika Remmel, Gummersbach / Rolf Roeder, Frankfurt / Reimond Rohde, Engelskirchen / Andreas Schäfer, Engelskirchen / Daniela Schäfer, Köln / Helmut Schäfer, Engelskirchen / Julia Schäfer, Engelskirchen / Thomas Schäfer, Engelskirchen / Joran Schneyer, Wuppertal / Dieter Seifried, Freiburg / Uwe Söhnchen, Engelskirchen / Hans Theo Spabier-Conradus und Beate Conradus, Köln / Wolfgang Steiner, Engelskirchen / Claudia Stockfisch, Engelskirchen / Cornelia Trantow, Engelskirchen / Dr. Dieter Volk, Hagen / Florian von Sothen, Bonn / Dirk Warscheit, Bielefeld / Friedhelm Wöll, Hauset (Belgien).

Das Projekt im Internet: [www.wupperinst.org/solarundspar](http://www.wupperinst.org/solarundspar)