



**HTW** Chur  
Hochschule für Technik und Wirtschaft

Fachhochschule Ostschweiz  
University of Applied Sciences

Bundesamt für Berufsbildung  
und Technologie  
Kommission für Technologie  
und Innovation KTI  
z. Hd. Fr. Schläefli / Fr. Daepp  
Effingerstrasse 27  
3003 Bern

Chur, 31. Oktober 2007

**KTI-Projekt Nr. 6594.4 FHS-ES "Autarkes Wohnen"**

# **Schlussbericht**

**Institut für Bau und Gestaltung  
Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Chur**

Prof. Christian Wagner  
Dipl. Architekt ETH /SIA  
Institutsleiter Bau und Gestaltung

Felice Guarino  
Dipl. Arch. FH  
Projektleiter „Autarkes Wohnen“

### **Ausgangslage. KTI-Vereinbarung:**

Das Forschungsprojekt „Autarkes Wohnen“ hat zum Ziel, den Prototypen eines autarken Einfamilienhauses planerisch zu entwickeln, baulich zu realisieren und wissenschaftlich auszuwerten. Das Projekt ist in fünf Phasen unterteilt, wobei die ersten zwei Phasen Grundlagenerarbeitung und Ausführungsprojekt Bestandteil des Forschungsprojektes sind und erst ausgewertet werden können, wenn die weiteren drei Phasen: -Realisierung des Prototypen, -Überprüfung der Solldaten und -Öffentlichkeitsarbeit abgeschlossen werden.

Laut der in Zürich am 14. März 2007 getroffenen Vereinbarung zwischen der Projekt betreuenden KTI-Expertin, Frau Marianne Daepf, und den Projektverantwortlichen der HTW Chur Bau und Gestaltung, *gilt neu aus Sicht der Kommission für Technik und Innovation das Projekt 6594.4 FHS-ES mit Abschluss der Ausführungsarbeiten, d.h. nach Bauabschluss des Wohnhauses, als abgeschlossen. Die KTI sieht den Vertrag als erfüllt an, da das Projekt durch den Pilotbau zu einem produktiven Abschluss gelangt.*

Die Finanzierung durch die KTI hat die unabdingbaren wissenschaftlichen Grundlagen und Voraussetzungen für die bauliche Umsetzung geschaffen, auf denen die „Wohnhaus-Flerden-spezifischen“ Planungsarbeiten aufbauen. Für die Realisierung des Wohnhauses waren unvorhergesehene topographisch und lokal bedingte zusätzliche Forschungsaspekte zu berücksichtigen, zudem galt es die Rahmenbedingungen für die wissenschaftliche Auswertung und Begleitung in den kommenden Jahren mittelskonzeptioneller und baulicher Massnahmen sicherzustellen (angebauter „Forschungspavillon“). Die entsprechenden Kosten wurden mit Unterstützung der Parrotia-Stiftung Zürich (Fr. 50'000.-) und der Stiftung HTW Chur Technik (Fr. 85'000.-) sowie neuer zusätzlicher Wirtschaftspartner gedeckt.

### **Projektstand 31.10.2007:**

Der Innenausbau ist z.Z. in der Abschlussphase. Bezugstermin noch vor Weihnachten 2007. Gewaltige Medienpräsenz (vergl. Fotodossier und Pressespiegel).

### **Umsetzung des Pilotprojekts:**

In Flerden (Heinzenberg, GR), direkt angrenzend an die EnergieVision Sonderbauzone, wurde ein EFH als Pilotbau erstellt. Dieses EFH wurde konform zu den Standardbauvorschriften errichtet.

Es handelt sich um ein auf Betonfundamente erstelltes Strohhaus mit hybrider Tragkonstruktion aus Stroh, Holz und Verputz. Dabei sind die Strohballen zu rund 70% lasttragend.

Der Gesamtenergiebilanz und speziell dem Aspekt der Grauen Energie wurde grösste Aufmerksamkeit geschenkt. Der Anteil Grauenenergie hatte möglichst gering zu sein.

Es entsteht ein „Genügsames Haus“: Auf landesübliche Sicherheitsmargen hinsichtlich Wohnraumtemperaturen (Heizung) und Energie wurde verzichtet.

### **Zahlen und Fakten:**

Baumaterialien: Beton (Fundamente), Holz, Stroh, Lehm, Kalk

Strohballen: 99 Stück mit 2.40 m Länge, 1.20 m Breite und 0.70 m Höhe

Projektbeginn: 2004

Baubeginn: 2. April 2007

Einzugstermin: Weihnachten 2007

### **Schwierigkeiten in der Umsetzung:**

Möglichst alle Massnahmen, welche der Vision des „Autarken Hauses“ entsprechen so wie sie im KTI-Beitragsgesuch geschildert wurden, sollten ins Gefüge des Hauses eingebaut werden. Dies musste allerdings ohne Einschränkungen hinsichtlich Garantiehafung, Funktionstüchtigkeit und Kosten geschehen. Unsicherheiten und unerprobte Aspekte mussten auf ein absolutes Minimum reduziert werden. Das Pilothaus wäre sonst nicht versicherbar (!) gewesen und damit untragbar für die Besitzer und Bewohner. Die Bauherrschaft kann sich aus finanziellen Gründen nur auf gesicherte Daten und Produkte stützen. Sie kann es sich nicht leisten, Produkte ohne Garantie einzusetzen.

Aufgrund dieser Tatsache mussten in der Umsetzung zum Teil andere technische Lösungen berücksichtigen werden, als noch in der KTI-Phase vorgesehen waren. Es mussten für wichtige, allerdings noch zu wenig geprüfte Produkte, mangels Garantie Alternativen gefunden werden.

Das Haus wurde so umgestaltet, dass ein nachträglicher Einbau und Betrieb der bis heute noch nicht seriell auf dem Markt erhältlichen, im eigentlichen Projektkonzept jedoch vorgesehenen Produkte gut möglich sein wird.

Der dem Haus rückwärtig vorgelagerte Technikraum („Forschungspavillon“) wird der Forschung als Messstation und Labor für neue Produkte und Technologien dienen. Er wird den momentanen wie auch zukünftigen neuen Wirtschaftspartnern genauso zur Verfügung stehen wie dem HTW internen Forschungsteam. Dazu wurde eine Nutzungsvereinbarung mit dem Bauherrn über 5 Jahre (verlängerbar) unterzeichnet.

### **Umgesetzte technische Innovation:**

Erst die hybride Tragkonstruktion, welche am Institut für Bau und Gestaltung der HTW Chur im Rahmen der Umsetzungsphase des KTI Projektes Autarkes Wohnen entwickelt wurde, ermöglicht den dreistöckigen Terrassenbau (Innovation im Strohbaubereich).

Die ebenfalls am Institut für Bau und Gestaltung der HTW Chur und in Zusammenarbeit mit der Firma Röfix entwickelte Lösung im Bereich Hausverputz ist hinsichtlich Grauer Energie bedeutend sparsamer als die konventionelle. Der Lehm wird direkt auf die Strohballen aufgesprüht, richtiggehend in diese eingespritzt. Damit entfällt der energieaufwändige Metallnetzmantel um die Strohwände, welcher üblicherweise als Verputzgrund dient.

### **Details zur Umsetzung:**

Als Vorlage zur Gliederung des nachfolgenden Bereichs dienen die Seiten 3f. des dem Projekt zugrunde liegenden Beitragsgesuchs.

### *A) Graue Energie:*

Die Graue Energie, welche laufend bei Logistik und Materialeinbau anfällt, wurde konstant katalogisiert.

Das Haus wurde aus Strohballen im Verbund mit Lehm/Kalkputz gebaut (hybride Tragkonstruktion). Die Untersuchungen und Berechnungen zu dem dreigeschossigen und terrassenartigen Strohballenbau wurden durch unseren neuen Wirtschaftspartner, den Bauingenieur Peter Braun (Freiburg) ausgeführt.

Mit Verzicht auf die Metallnetzummantelung des Strohballenmauerwerks wurde Graue Energie eingespart.

Die Energiespeicherung erfolgt im Elektrolyse-Speicherverfahren, anstelle der verbreitet verwendeten, energieintensiven und ökologisch kritischen Bleibatterien.

Basierend auf dem Konzept der Genügsamkeit wurde ein absolut minimales Photovoltaik- und Solarzellensystem eingerichtet, was die Graue Energie bei der Herstellung der Solaranlagen deutlich verringert.

### *B) Betriebsenergie:*

#### 1. Gewinnung:

Aufgrund der in der ersten Phase des Projektes untersuchten Varianten und verfolgten Forschungsansätze hatte sich das Prinzip des Schwerkrafthauses als das umzusetzende Haussystem herauskristallisiert (vgl. Reader Autarkes Wohnen). Von der vollumfänglichen Umsetzung dieses Prinzips musste jedoch vorübergehend Abstand genommen werden. Sie ist jedoch für einen späteren Zeitpunkt vorgesehen. Grund: Der Entwicklungsstand des Niedertemperatur Stirlingmotors entspricht noch nicht jenem, welchen wir zur Umsetzung des Schwerkrafthauses benötigen. Das notwendige Produkt wird erst in ca. zwei Jahren seriell in Produktion gehen. Erst zu diesem Zeitpunkt, wird eine Umsetzung des Schwerkraftprinzips inklusive Garantiehafungen durch die Partner möglich sein. Der Wirkungsgrad des Niedertemperatur-Stirlingmotors muss dem der PV-Anlagen über ein Jahr hinweg betrachtet gegenübergestellt werden, um herauszufinden, welches System für kältere aber sonnige Bergregionen für ein Wohnhaus geeigneter ist.

Das Schwerkraftprinzip wird am Pilotbau anhand einer ins Bauprojekt integrierten kleinen Rinnenkollektoranlage, welche mit Thermoöl als Wärmeträger funktioniert, weiter verfolgt werden (u.a. Temperaturmessungen).

Die Energiegewinnung geschieht nach wie vor mit Hilfe der Sonnenwärme. Für die Stromgewinnung werden am zweiten Balkongeländer 14m<sup>2</sup> Photovoltaik-Elemente montiert, regulierbar je nach Sonnenstand zwischen 35° und 75°. Bei der Elektroanlage gehen wir von einem modularen Energie-Design aus. Mit der realisierten Anlage erreichen wir einen Energieertrag von 6-7 kWh pro Tag. Theoretisch ist diese Leistung ungenügend, würden wir weiterhin mit konventionellen Elektrogeräten kochen und backen. Durch alternatives Kochen und Backen mit Holz sowie der Warmwasserversorgung direkt ab dem Solarspeicher für Geschirrspüler und Waschmaschine, reduziert sich der Verbrauch um ca. 3 kWh pro Tag gegenüber einem konventionellen Haus. Zusätzlich könnte die Kühlung mit Wärme anstelle mit Strom den Bedarf an Photovoltaikpanelen weiter reduzieren. In einer Übergangsphase wird zusammen mit der Firma V-Zug der Verbrauch der Haushaltgeräte reduziert und ein Tiba Kochherd eingebaut. In Zusammenarbeit mit der Firma AWtec aus Zürich wird im ausgehängten Technikraum ein weiteres Forschungsprojekt gestartet, welches die Effizienz und den

Einsatz eines Niedertemperatur-Stirlingmotors prüft und versucht Haushaltgeräte, welche mit Solarwärme betrieben werden können zu entwickeln. Diese Apparate werden zu gegebenem Zeitpunkt die jetzig geplante Anlage ergänzen

Wirtschaftspartner für die Energiegewinnung sind die Soltop Schuppisser AG und die Willi Haustechnik AG.

Das Haus bezieht keinen Strom aus dem Netz, ist jedoch am Elektrizitätsnetz angeschlossen um bei Überschussproduktion vorläufig den Solarstrom in Netz einspeisen zu können. (eine nicht vorgesehene Massnahme, die infolge des Standortes des Hauses in voll erschlossenem Gebiet einzig sinnvoll war).

## 2. Speicherung:

Die Speicherung der Elektrizität erfolgt nicht mehr mittels Bleibatterien, sondern im Netzverbund mit dem EWZ. Nach langen Diskussionen hat sich ergeben, dass die netzunabhängige Speicherung sehr unwirtschaftlich ist. Ebenfalls wäre es nicht möglich die aufgewendete „Graue Energie“ in einer vernünftigen Zeitspanne zu amortisieren, ansonsten würde überschüssige Energie vernichtet. Als Forschungsziel eingebaut wird die Technik für ein reversibles Elektrolyseverfahren, bei welchem Elektrizität in Wasserstoff umgewandelt und danach in dieser Form gespeichert wird. Damit wird die konventionelle Speicherung mittels Bleibatterien ersetzt. Das Prinzip der Elektrolyse-Speicherung von Elektrizität ist am Institut für Solartechnik SPF in Rapperswil entwickelt worden. Der Instituttleiter SPF, Prof. Dr. Andreas Luzzi, ist einer unserer neuen Partner.

Es wird ein Warmwasserspeicher (1000 Liter) sowie zu einem späteren Zeitpunkt ein kleiner Wärmeträgerspeicher zu Testzwecken eingebaut.

Alle Anlagen zur Wärme- und Energiespeicherung werden im angebauten Technikraum („Forschungspavillon“) installiert. Der Technikraum steht der Forschung für weitere Evaluationen zur Verfügung, aufgrund des vertraglich geregelten Nutzungsrechts (vorerst auf 5 Jahre festgesetzt).

## 3. Verbraucher

Elektrizität: Anhand unseres Prototyps konnten wir nachweisen, dass ein Niedertemperatur-Stirlingmotor bei einer Temperaturdifferenz von 70°C in notwendig effizienter Weise funktioniert. Im angebauten Forschungsraum kann dieser Ansatz zum gegebenen Zeitpunkt an einem Probemotor getestet werden. Der Ausbau der nötigen Anschlussleitungen ist am Bau vorbereitet. Der Einsatz eines serientauglichen Niedertemperatur-Stirlingmotors ist heute jedoch noch nicht möglich. Die Firma Stirling Systems AG in Schaffhausen wird erst in ca. zwei Jahren ein solches Gerät auf den Markt bringen. Vorläufig wird deshalb nur mit dem Solarstrom gearbeitet.

Kühlung: Das Kühlungssystem für Kühlschrank und Luft ist nicht weiter verfolgt worden. Eine Kühlung der Luft erscheint nicht sinnvoll, da die hybride Bauhülle aus Stroh ein sehr gutes Raumklima ermöglicht.

Heizung: Auf eine konventionelle Heizung wird verzichtet. Einerseits hat das Haus mit dem Baustoff Stroh eine ausgezeichnete wärmedämmende Eigenschaft, andererseits wird das Haus im Winter passiv von der Sonne erwärmt. Dafür wurden in der Architektur grosszügige Fensterfronten auf jeder Etage vorgesehen. Während langen Schlechtwetterperioden kann über den Küchenherd mit Holz das Haus beheizt werden.

Im Sommer besteht die Gefahr der Überhitzung, obwohl Stroh ein ausgezeichneter Isolator ist. Der Raum hinter den Glasscheiben wird durch die Sonne erwärmt. Um diese passive Heizung einfach zu regeln, wurde eine effiziente und grosszügige Beschattung realisiert.

Es wäre interessant ein hybrides Glas zu entwickeln, welches im Sommer vor der unerwünschten Überhitzung schützt und im Winter die solare Wärme in den Innenraum leitet.

Kochen: Mit der Idee, den Kochherd und den Backofen mit solar-erhitzter Wärmeträgerenergie anzutreiben, sind wir der Entwicklung ca. fünf Jahre voraus. Bis zum heutigen Zeitpunkt ist keine Firma bereit gewesen, eine hierfür konzipierte Küche *inklusive Garantiehaftung* für ein EFH zu liefern. Die Küche wird nun mit Solarstrom betrieben.

Elektrische/ elektronische Installationen /Geräte: Eingebaut werden durchgängig Geräte mit möglichst minimalem Verbrauch. Wirtschaftspartner ist hier V-Zug AG. Zusammen mit V-Zug wird zudem erprobt, ob es möglich ist, Abwärme der Kochgeräte mittels Peltier-Elementen wieder zu Strom umzuwandeln.

Licht /Beleuchtung: Das Lichtkonzept ist energietechnisch optimiert. Partner ist die Störi Einbau-Leuchten AG?.

#### 4. Notsysteme:

Es besteht kein Netzanschluss zur Energiegewinnung. Es wird nur die Möglichkeit zur Einspeisung des überschüssigen Solarstroms ins Netz installiert.

Es wird zur Zeit geprüft, ob als nächste Ausbaustufe eine mesophile Biogasanlage eingebaut werden soll. Der Betrieb einer solchen Anlage wird mit Kompost gewährleistet. Der Einsatz von Fäkalien in einer solchen Anlage ist allerdings baurechtlich ungelöst. Ein Anschluss an die ARA ist vorgeschrieben. Der nachträgliche Anschluss der Biogasanlage ist möglich.

Für den Küchebereich wird ein Notsystem basierend auf einer Holzfeuerung installiert.

Die Notfallsysteme werden im dezentralen Technikraum eingebaut. Dort werden in der Folge Messungen und Versuche zum Notsystem stattfinden.

#### C) Wasser

##### Gewinnung:

Es muss zum jetzigen Zeitpunkt ein Netzanschluss erfolgen. Vorerst wird nur das Regenwasser vor Ort gesammelt. Dieses reicht nicht aus, um den Bedarf der Bewohner zu decken. Von weiterer Wasserfassung vor Ort wird vorläufig noch abgesehen.

Das Warmwasser wird mittels Solarkollektoren gewonnen, welche am Balkongeländer montiert werden. Die Kollektoren sind zwischen 35° und 75° verstellbar um auf die verschiedenen Sonnenstände wie Sommer und Winter zu reagieren. Die zur Verfügung stehende Fläche beträgt rund 14 m<sup>2</sup>. Für die Speicherung wird vorerst ein Warmwasserboiler von 1'000 Liter installiert. Für die weiteren Forschungszwecke wird Platz im Forschungspavillon für einen zweiten Speicher vorgesehen.

##### Verbraucher:

Vorläufig werden die Toilettenspülung, die Waschmaschine, der Geschirrspüler, ev. die Dusche sowie die Gartenbewässerung mit dem Regenwasser erfolgen. Der Wasserverbrauch wird auf allen Ebenen optimiert. Wirtschaftspartner sind V-Zug AG und Neoperl AG.

#### Speicherung:

Das Regenwasser wird in einem Tank gesammelt. Das Warmwasser wird im Technikraum gespeichert.

#### Reinigung:

Es konnte bisher noch kein sich sinnvoll ins gewählte genügsame Haussystem integrierende Lösung zur gesicherten Keimabtötung im Wassersammeltank gefunden werden. Mit den momentanen Möglichkeiten durch Solar-Erhitzung kann die erforderliche durchgängige Sicherheit über den gesamten Jahreszyklus nicht vollkommen gewährleistet werden.

Eine Nutzung des aus dem Spülwasser von Küche, Waschküche und Bad sich ergebenden Grau Wassers ist vorläufig nicht möglich. Die Wasser Hygienevorschriften erlauben dies mit dem momentan gewählten Haussystem nicht. Notwendig wäre eine Biokläranlage. Diese macht jedoch aufgrund des grundsätzlich vorgeschriebenen ARA Anschlusses wenig Sinn und würde somit unnötig hohe Zusatzkosten verursachen.

### D) Vernetzung

#### Planungsarbeiten:

Das Institut Bau und Gestaltung der HTW Chur koordiniert und kontrolliert sämtliche Arbeitsabläufe und funktioniert als zentrale Schnittstelle.

#### Personelle Organisation:

Durch den unerwarteten, plötzlichen Tod des einen Hauptprojektpartners, Reto Schmid, entstand eine zu grosse, einseitige Abhängigkeit vom zweiten Hauptpartner, Werner Schmidt. Um das Projekt daraus zu befreien, wurden einige Veränderungen notwendig, welche sich auf den Gesamtverlauf des Projektes und die personellen Strukturen auswirkten:

Die sich ergebende Know-how-Lücke konnte mit dem Projekteinstieg von Matthias Sulzer (Lauber IWISA) mehr als wettgemacht werden. Matthias Sulzer ist im Projekt im Auftrag des neu dazu gewonnenen Hauptwirtschaftspartners, der Willi Haustechnik AG tätig, durch deren Einstieg sich ein ansehnlicher Teil der finanziellen Lücke wieder schliessen liess. Zudem wurde das Projektleitungsteam der HTW Chur für die Umsetzungsphase neu festgelegt.

#### **Projektteam Umsetzungsphase intern HTW Chur Bau und Gestaltung:**

Walker Josef, Prof. lic. rer. pol. , dipl. chem., HTW Chur, Verantwortlicher in Schulleitung

Wagner Christian, Prof. Dipl. Arch. ETH/SIA, FH Chur, Leiter Bau und Gestaltung (BuG)

Guarino Felice, dipl. Arch. FH, HTW Chur, BuG, Gesamtprojektleiter / Bauleiter Flerden

Pfleger Patrick, dipl. Arch. FH, HTW Chur, BuG, Ausführungsplanung

Klopfenstein Carole, lic. phil., HTW Chur, BuG, akademische Mitarbeiterin

Darius Rozumowski, Dipl. Arch. ETH/SIA, HTW Chur, BuG, akademischer Mitarbeiter

### **Wirtschaftspartner Umsetzungsphase:**

Schon gegen Ende der Forschungsarbeit, vor allem aber dann beim Erstellen des konkreten Projektentwurfs, zeigte sich, dass neue Wirtschaftspartner nötig sein würden. Partner, deren Produkte und Interessen im letztlich definierten Umsetzungsprojekt keine Anwendung mehr fanden oder die keine endgültige Garantie auf Ihre Produkte geben wollten, konnten nicht weiter berücksichtigt werden.

Bauherrschaft Fam. Meier Tannek, Flerden

Werner Schmidt, Architekt, Atelier Werner Schmidt, Areal Fabrica 117, 7166 Trun

Hausbau Schöb, Haagerstrasse 80, 9473 Gams

Neoperl AG, Pfeffingerstrasse 21, 4153 Reinach-Basel, Kontakt: Jean-Marc Devaud, VP Marketing

Soltop Schuppisser AG, St. Gallerstrasse 5a, 8353 Elgg, Kontakt: Fritz Schuppisser, Geschäftsführer

Sulzer, Matthias, dipl. Ing. FH/SIA, Willi Haustechnik AG, Industriestr. 19, 7001 Chur

Luzzi, Andreas, Prof. Dr., Institutsleiter, Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil

Braun, Peter, dipl. Ing., Normal Office Sàrl, Route de la Fonderie 32, 1700 Fribourg

Osram AG, In der Au 6, 8401 Winterthur, Kontakt: Hansrudolf Bosshard, Marketing Manager

V-ZUG AG, Industriestrasse 66, 6301 Zug, Kontakt: Philipp Hofmann

EgoKiefer AG, Schöntalstrasse 2, 9450 Altstätten, Kontakt: Stefan Battaglia, Leiter Technik/ Produktion

Gebr. Guarino, Gipsergeschäft, Landquart. Systempartner Röfix, Sennwald

Störi Einbauleuchten, Schwanden

Richner Bäder, Chur

### **Finanzielle Träger der Umsetzungsphase nebst der HTW Chur:**

Stiftung HTW Chur Technik, Chur

Parrotia Stiftung, Zürich

### **Finanzierung Umsetzungsphase:**

Aufgrund der notwendigen Veränderungen im Konzept zwischen Forschungsprojekt und Umsetzungsprojekt, wurde die Zusammenarbeit mit einigen zu stark spezialisierten Wirtschaftspartnern des KTI-Vertrags unmöglich. Diese Firmen (teils Kleinbetriebe) waren auf Bereiche spezialisiert, die nicht mehr ins momentane Umsetzungsprojekt einfließen. Da jeweils eine Beteiligung in Mannstunden, ergänzt durch ein deutliches Sachsponsorings im Bereich der letztlich zum Einsatz gelangenden Eigenprodukte

vorgesehen war, musste von einer weiterführenden Zusammenarbeit mit diesen Betrieben abgesehen werden. Einige kleine, sehr innovative Firmen existierten nicht mehr in der ursprünglich gegebenen Form oder hatten sich in für unser Projekt irrelevante Richtungen weiter spezialisiert.

Zusätzlich erschwerend auf die finanzielle Sicherheit des Projektes wirkte sich aus, dass die Überführung des Forschungsprojekts ins Bauprojekt aufgrund des notwendigen Konzeptwechsels deutlich grösseren Zeitaufwand erforderte als ursprünglich vorgesehen. Die Lohnkosten für die Überführungsphase waren massiv, jedoch überhaupt nicht projektiert. Man war davon ausgegangen, die Forschungsergebnisse direkt umsetzen zu können. Die HTW übernahm angesichts des grossen Medienechos die gesamten Lohnkosten Ihrer Mitarbeitenden für die Überführungs- wie die Umsetzungsphase (vgl. Anhangblatt Lohnkostenrechnung HTW).

Die wichtigsten neuen Knowhow-Partner, Matthias Sulzer (Willi Haustechnik/ Lauber IWISA) und Andreas Luzzi (Fachhochschule Rapperswil) leisteten Ihren gesamten Einsatz unbezahlt.

Um die fehlenden Mittel bei Wirtschaft, Öffentlichkeit und Privaten zu beschaffen, wurde intensiv Fundraising betrieben (vgl. Anhangblatt Fundraisingaktivitäten.). Völliges Unverständnis unsererseits riefen die Absagen des Bundesamtes für Energie und des Kantonalen Amtes für Energie hervor.

Mit dem Konzept des angebauten Forschungspavillons und der Nutzungsvereinbarung mit der Bauherrschaft für Forschungszwecke konnten die Parrotia Stiftung und die Stiftung HTW Chur Technik sowie zahlreiche neue Wirtschaftspartner gewonnen werden, mit deren Hilfe die Fortsetzung des KTI-Projektes durch den Tatbeweis der Realisierung eines konkreten Wohnhauses sichergestellt wurde.

## **Wirtschaftlicher Nutzen**

### Kurzfristig:

Die neu entwickelte, dreigeschossige hybride Stroh-Holz-Lehmbautechnik kann weiter verfolgt und verwertet werden.

### Mittelfristig:

Das Konzept der Genügsamkeit kann verbreitet zur Anwendung gebracht werden. Zunehmende Energieknappheit, steigende Energiepreise, Bevölkerungswachstum und bedenkliche Umweltverschmutzung (z.B. Feinstaub, CO<sub>2</sub> etc.) dürften diesem Konzept förderlich sein. Die Nachfrage nach nachhaltigen baulichen Lösungen ist schon heute steigend, aus ökologischen wie ökonomischen Gründen. Dabei geht es einerseits um die gezielt minimal gehaltene Solaranlage (Graue Energie), den Verzicht auf eine Heizung (keinerlei CO<sub>2</sub>-Ausstoss) und die Minimierung des Frischwasserverbrauchs und des Grauwasserbedarfs, andererseits aber vor allem auch um die persönliche innerliche Bereitschaft und der auf fundiertem Wissen zur Thematik basierende Wille des/r Einzelnen, bewusst mit dem vorhandenen Angebot an Energie und Wasser umzugehen.

### Langfristig:

Die Umsetzung des „Schwerkraftshauses“ wird weiterverfolgt. Die Machbarkeit und Funktionsfähigkeit des Systems konnte in Laborversuchen an hierfür durch die HTW Chur Bau und Gestaltung entwickelten Prototypen nachgewiesen werden.

Temperaturmessungen aufgrund der Rinnenkollektor-Testanlage am Pilotbau in Flerden werden weitere praktisch fundierte Dateninformationen liefern. Sobald der Niedertemperatur Sterlingmotor in Serie produziert und marktreif ist, soll das Konzept Schwerkrafthaus weiterentwickelt werden. Dabei liegt das Hauptinteresse auf der nächtlichen Stromerzeugung, wo das Delta T in Bergregionen interessant wird.

### **Schlussfolgerungen: Erkenntnisse aus der Umsetzungsphase**

Das Konzept des KTI Projekts „Autarkes Wohnen“ geht von einem Haus aus, das mit dem funktioniert was unmittelbar auf dem Grundstück vorhanden ist. Ein Haus bestenfalls unabhängig von Kanalisations- und Trinkwasseranschluss, nicht angeschlossen am Elektrizitätsnetz und ohne Heizung.

Während der Planung des Wohnhauses in Flerden sind wir zur Überzeugung gelangt, dass solche autarke Inselanlagen in unerschlossenem Gebiet durchaus sinnvoll und auch realisierbar sind. Für erschlossenes Gebiet stellte sich jedoch heraus, dass solche Inselanlagen eher kostspielig und umständlich sind.

Nachdem wir eine Vielzahl von Varianten der Solartechnik analysiert haben, stellen wir fest, dass in erschlossenem Gebiet Autarkie weder ökologisch noch ökonomisch begründbar ist.

Die Energie, welche während der Planung und Erstellung eines Hauses verbraucht wird (graue Energie), muss in einem ganzheitlichen Ansatz mitberücksichtigt werden. Die Amortisierung dieser grauen Energie kann durch Rückspeisung von Überschussenergie in das vorhandene Elektrizitätsnetz erfolgen. Das Ziel ‚100% Autark zu sein‘ und das bereits vorhandene Elektrizitätsnetz zu umgehen, ist unverhältnismässig und nicht zweckmässig.

Im Projekt „Autarkes Wohnen“ in Flerden haben wir uns für ein genügsames Konzept entschieden. Genügsam nicht im Sinne, dass wir auf etwas verzichten, sondern wir wollen effizient, umweltbewusst, wirtschaftlich und energiesparsam mit den vorhandenen Ressourcen wie Sonne, Holz, Wasser und dem bereits vorhandenen Elektrizitätsnetz umgehen. Im konkreten Fall bedeutet dies:

- Verzicht auf den Einbau einer Heizung: Damit verzichtet man auf die landesübliche Absicherung gegenüber extremen Temperaturschwankungen in den negativen Bereich im Winter. Es könnten, nach langen und extremen Kälteperioden und ohne Sonneneinstrahlung, im Winter, kurzfristig Wohnraumtemperaturen von minimal ca. 16°C vorkommen. Genau in dieser Phase wäre auch der Stromverbrauch gut zu kontrollieren, damit das Energieangebot ausreicht.
- Sowohl die Solaranlage als auch Wärme- und Energiespeicher werden minimal konzipiert. Dies spart Graue Energie. In all diesen drei Bereichen fliesst sehr viel Energie in die Herstellung der notwendigen Produkte. Dieses nun umgesetzte Minimalsystem verlangt von den Bewohnern einen informierten, überlegten und kontrollierten Umgang mit den Energie- und Wasserressourcen.

Das Funktionieren des Konzepts des Autarken Wohnens im realen Alltagsbetrieb einer 5-köpfigen Familie, ist nur gewährleistet, wenn folgende Aspekte beachtet werden:

- Der Energiebedarf und die jeweiligen Bedarfsbereiche jedes Familienmitglieds müssen vorgängig detailliert eruiert und danach relativiert und optimiert werden.

- Die Optimierung kann teilweise durch gezielte Wahl der idealen technischen und elektronischen Verbraucher geschehen (Home-Electronics, Küche, Waschküche etc.). Dies reicht jedoch nicht aus.
- Optimierung muss auf dem Willen der Beteiligten basieren. Dies kann z. B. heissen, dass manchmal zugunsten eines notwendigen Verbrauchers (Kochherd) auf den Einsatz eines nice to have Verbrauchers (Videorecorder, Elektrogitarre, Föhn) verzichtet wird, weil für den Einsatz von beiden Geräte nicht mehr genügend Energie zur Verfügung steht.
- Eine Optimierung des Energie- und Wasserverbrauchs kann nur funktionieren, wenn alle Beteiligten gut informiert bzw. geschult sind hinsichtlich der effektiven Standardverbrauchsquellen.
- Grundlage des Systems bildet aber vor allem der rücksichtsvolle Umgang sowohl mit den natürlichen Ressourcen als auch mit den Rechten der Mitmenschen: Jede Person muss sich selbst ihres eigenen Verbrauch bewusst sein und den Bedarf der anderen Beteiligten achten und respektieren. Dies bedeutet eine grosse psychologische Herausforderung für die Zukunft.
- Die Testfamilie im Pilotheus in Flerden wird zudem einem weiteren psychisch-sozialen Druck ausgesetzt sein: Sie werden nicht haben, was für alle anderen im Umfeld vorläufig noch selbstverständlich bleibt, Strom in Überfluss. Wie sich das auf das Gesamtgefüge der Familie sowie auf die persönlichen Verhaltensweisen (Lösungswege) der einzelnen Beteiligten auswirkt, soll Teil der weiteren angewandten Forschung im Anschluss ans Umsetzungsprojekt sein.

Mit der Familie Meier Tannek haben wir eine Bauherrschaft, die sehr energie- und umweltbewusst leben möchte. In einer Anfangsphase wollen wir testen, ob es möglich ist, mit den theoretischen 6-7 kWh Stromertrag pro Tag in unserem Haus in Flerden zu leben. Was bedeutet es, wenn ein Engpass entsteht? Theoretisch kann die Familie den eigenen produzierten Überschussstrom jederzeit aus dem Netz wieder beziehen. Wir werden jedoch diesen Stromfluss sichtbar gestalten: Jeder Bezug aus dem Netz wird im Küchenbereich dargestellt und aufgezeichnet. Wenn man merkt, dass der Verbrauch nicht mehr mit der eigenen Produktion gedeckt werden kann, soll die Familie angehalten werden, auf ihr Verhalten zu achten. Durch diese „Kontrolle“ werden wir mehr über das Verhalten in Erfahrung bringen, das zu solchen Engpässen führt. Dadurch erhoffen wir uns weitere Erfahrungswerte zur Berechnung und Optimierung des Verbrauch in einem Einfamilienhaus.

Ein Haus, das mit dem funktioniert, was auf dem eigenen Boden vorhanden ist, ist auch ein Haus, das durch das Benutzerverhalten massgeblich mitbeeinflusst wird. Genügsames Wohnen ist kein Verzicht, sondern ein bewusster Umgang mit den Ressourcen. „Autarkes Wohnen“ heisst nicht sich von allem zu lösen und abzukoppeln, sondern im Einklang mit den vorhandenen Ressourcen und Infrastrukturen ein umweltbewusstes und wirtschaftliches Konzept zu erarbeiten.