Zero Carbon Village

ZCV

Energieautarke Siedlung, Industrielle Forschung

R. Wimmer, S. Eikemeier, M. Burghardt

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

00/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
http://www.nachhaltigwirtschaften.at

Zero Carbon Village

ZCV

Energieautarke Siedlung, Industrielle Forschung

GrAT – Gruppe Angepasste Technologie
Dr. Robert Wimmer
DI (FH) Sören Eikemeier
Magdalena Burghardt, MA
Stefan Prokupek
Ing. Gerald Englmair, BSc

Projektpartner
teamgmi Ingenieurbüro GmbH (DI Michael Berger)
ÖGUT – Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik
IG Passivhaus Österreich (Arch. DI Johannes Kislinger)
Atelier Schmidt (Mag. arch. Werner Schmidt)
Zumtobel Lighting GmbH
Beziehungsmanagement Austria VEREIN & CoKG
EUDORA GmbH
ÖKO-HAUS Systembau GmbH

Wien, November 2012

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse **http://www.HAUSderZukunft.at** Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung 12

Abstract 14

1 Einleitung 15

1.1 Allgemeine Einführung in die Thematik 15

1.2 Ausgangssituation/Motivation des Projektes 15

1.3 Zielsetzungen des Projektes 15

1.4 Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts 17

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt 18

2.1 Stand der Technik 18

2.2 Vorarbeiten 18

2.3 Innovationsgehalt des Projektes 19

2.4 Methoden, Vorgangsweise, Datenquellen 20

3 Modular vorgefertigte Gebäudekomponenten 21

3.1 Prototypenherstellung – Entwicklung von Detaillösungen 21

3.1.1 Vorversuche für die modulare Vorfertigung 22

3.1.2 Wandelemente 24

3.1.2.1 Wandelement 1 – KLH-Plattenelemente mit Strohballendämmung 24

3.1.2.2 Wandelement 2 – Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Strohdämmung 25

3.1.3 Bodenelemente 25

3.1.4 Dachelemente 28

3.1.5 Geschoßdecken 31

3.1.6 Rückbau der einzelnen Elemente 32

3.2 Gesamtkonzept für die rationelle Herstellung 32

3.2.1 Vorfertigung mit werkseitiger Dämmung 32

3.2.2 Vorfertigung von Zimmerelementen mit nachträglicher Strohummantelung 38

3.2.3 Vergleich und Schlussfolgerungen für die ZCV-Fertigung 43

3.3 Architektonisches Konzept 44

3.3.1 Einfamilienhaus 45

3.3.2 Reihenhaus 48

3.3.3 Mehrgeschoßwohnbau mit Betonfertigteilen 51

3.4 Haustechnik 54

3.4.1 Passivhaustechnik 54

3.4.2 Vergleich von Haustechnikkonzepten 56

3.4.2.1 Kurzbeschreibung der Varianten ... 57
3.4.2.2 Vergleich der Varianten ... 64
4 Virtuelle Fabrik – Organisationsstruktur für die Fertigung ... 68
4.1 Analyse von Fertigungsszenarien ... 69
4.1.1 Vorfertigung von Betonmodulen ... 69
4.1.2 Vorfertigung von gedämmten KLH-Modulen ... 70
4.1.3 Vorfertigung und werkseitige Strohballendämmung von Außenwandelementen ... 72
4.1.4 Vorgefertigte Zimmerelemente / Strohummantelung vor Ort ... 73
4.1.5 Prototypen Zero Carbon Village ... 74
4.2 Vergleich der Fertigungsszenarien ... 75
4.3 Mass Customization und Konfigurationsmöglichkeiten ... 77
4.4 Umsetzungspotenzial der Virtuellen Fabrik für das Zero Carbon Village ... 79
4.4.1 Möglichkeit eines Kooperationsnetzwerks in der Region Traismauer/NÖ ... 81
4.4.2 Zentrale Koordinationsstelle – Modell der Genossenschaft ... 82
4.4.3 Analyse bestehender (Einkaufs-)Genossenschaften ... 83
4.4.4 Schnittstellen zum Zero Carbon Village ... 84
5 Energieversorgung des Zero Carbon Village ... 85
5.1 Ausgangslage – Energieverbrauch im Gebäude ... 85
5.2 Funktionsschema der Energieversorgung im Zero Carbon Village ... 86
5.3 Vergleich von Nutzungspfaden ... 88
5.3.1 ZCV-Szenario „Solarwärme/ORC“ ... 88
5.3.2 Referenzszenario „Solarstrom/PV“ ... 89
5.3.3 Vergleich der Szenarien ... 90
5.3.3.1 Simulationsannahmen ... 91
5.3.3.2 Variantenbeschreibung ... 91
5.3.3.3 Schlussfolgerungen Variantenvergleich ... 94
5.4 Netzdesign ... 94
5.4.1 Niedertemperaturnetze ... 94
5.4.2 Mitteltemperaturnetze ... 100
5.5 Systemvarianten ... 100
5.5.1 Variante 1: Zentral ... 100
5.5.2 Variante 2: Dezentral – integriert ... 101
5.5.3 Variante 3: Dezentral – angedockt ... 101
5.5.4 Variante 4: Zero Carbon Village ... 101
5.6 Technologien und Komponenten ... 102

5.6.1 Überprüftes Systemlayout für die Komponenten des Zero Carbon Village 102
5.6.2 Parabolrinnenkollektor 104
5.6.3 Wärmeträgermedium Thermoöl 105
5.6.3.1 Dichtigkeit und Regelungstechnik 106
5.6.3.2 Materialausdehnung 107
5.6.3.3 Sicherheitstechnik 107
5.6.3.4 Ausblick für die Umsetzung 107
5.6.4 Thermische Speicher 107
5.6.5 Organic Rankine Cycle (ORC-Anlage) 110
5.6.6 Alternative Technologien und Komponenten für die Energiekonversion 112
5.7 Berechnung der Energiebilanz (Input–Output) 113
5.7.1 Grundlagen der Modellrechnung 114
5.7.2 Durchführung der Berechnung 117
5.7.2.1 Komponenten zur Erzeugung thermischer Energie 117
5.7.2.2 Komponente zur Erzeugung elektrischer Energie 119
5.7.2.3 Speichersystem 119
5.7.2.4 Output-Komponenten 120
5.7.2.5 Energieverluste 122
5.7.3 Ergebnisse der exemplarischen Berechnung 125
5.7.3.1 Energieerträge 126
5.7.3.2 Dimensionierung des Thermoöl-Steinspeichers 128
5.7.3.3 Energiebilanz der ORC-Anlage 130
5.7.3.4 Abdeckung der Bedarfswerte 131
5.7.3.5 Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren 132
5.8 Regelung und Steuerung des Systems 135
5.8.1 Verbraucherseitige Maßnahmen – Demand Side Management 135
5.8.2 Regelungsfunktionen im Wärmeerzeugungssystem 136
5.9 Reduktion des Stromverbrauchs der Endgeräte im Haushalt 141
5.9.1 Gefrier- & Kühlgeräte 143
5.9.2 Waschmaschine 143
5.9.3 Geschirrspüler 144
5.9.4 Wäschetrockner 145
5.9.5 Herd, Backrohr 146
5.9.6 Beleuchtungssystem 152
5.10 Prototyp-Testanlage 155

5.10.1 Zielstellungen 156
5.10.2 Bauliche Vorplanung der Anschlusslösungen 158
5.10.3 Bauliche Umsetzung der Anschlusslösungen 160
5.10.4 Konzept für Neubauten 160
6 Strohballen als Dämmstoff im Zero Carbon Village 166
6.1 Eigenschaften und Qualitätskriterien von Baustrohballen 166
6.1.1 Lagerung 167
6.1.2 Transport 167
6.2 Qualitätssicherung 168
6.3 Messmethoden 169
6.3.1 Messung der Feuchte 170
6.3.1.1 Humimeter 170
6.3.1.2 Mikrowellen-Feuchtesensor 170
6.3.2 Messung der Masse 172
6.3.3 Bestimmung der Abmessungen 173
6.3.4 Dichte der Baustrohballen 174
6.4 Dokumentation mittels RFID 175
6.5 Prozessketten für die Produktion und Qualitätskontrolle von Baustrohballen 176
6.5.1 Qualitätskontrolle durch den Zertifikataussteller während der Produktion 176
6.5.2 Qualitätskontrolle durch Landwirte während der Produktion 177
6.5.3 Qualitätskontrolle durch den Zertifikataussteller nach der Produktion 179
6.5.4 Qualitätskontrolle durch den Zertifikataussteller bei stationärer Produktion 180
6.5.5 Vergleich der Prozessketten 181
6.6 Optimierung des Produktionsverfahrens 182
6.6.1 Vorversuche für die Herstellung verschiedener Formate 182
6.6.1.1 Pressen von kurzen Großballen (Strohscheiben) 182
6.6.1.2 Produktion von Standard-Kleinballen mit einer Dichte von über 100 kg/m3 184
6.6.1.3 Produktion von kurzen Kleinballen für einen Einbau in Pressrichtung 184
6.6.1.4 Bearbeiten von Strohballen mit der Bandsäge 185
6.6.1.5 Stauchung der Ballen 187
6.6.1.6 Händisches Ablängen der Großballen 188
6.6.2 Adaptierungsmöglichkeiten für die Herstellungstechnik 189
6.6.2.1 Stationäre Herstellung von Strohscheiben 189
6.6.2.2 Konzept der Strohballen-Schneide- und -Abbindeeinheit 191
6.6.2.3 Stationäre Strohballenpresse 192

6.7 Fertigteilelemente mit Strohballen 193
6.7.1 Aktuelle internationale Entwicklungen im Strohbau 193
6.7.2 Prototypenherstellung von strohballengedämmten Fertigteilen 193
6.7.3 Vorbereitung für Zulassung 197
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen für weiterführende Forschung und Entwicklung 198
7.1 Schlussfolgerungen aus der Entwicklungsphase 198
7.1.1 Modulare Vorfertigung 198
7.1.2 Energieversorgung 199
7.1.3 Strohballen als Dämmstoff 201
7.2 Weiterentwicklungsbedarf 201
7.2.1 Modulare Vorfertigung 201
7.2.2 Energieversorgung 202
7.2.3 Strohballen als Dämmstoff 205
7.3 Konzept für die Demonstrationssiedlung 205
7.3.1 Standort 206
7.3.2 Vorentwurf für die Siedlungsplanung 206
7.3.3 Aufbau der Siedlung 208
7.3.4 Energie- und Ressourceneffizienz im Verbund 210
7.3.5 Umsetzungskonzept in der Modellregion 210
7.3.6 Arbeits-/Zeitplan für das Demonstrationsprojekt 216
8 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms 217
8.1 Einpassung und Beitrag zum Gesamtziel des Programms 217
8.2 Einbeziehung der Zielgruppen 218
8.3 Umsetzungspotenzial 218
9 Literaturverzeichnis 220
10 Abbildungsverzeichnis 222
11 Tabellenverzeichnis 227
Anhang 229
Anhang Teil 1: PVSol Varianten 1-4 229
Anhang Teil 2: Meteonorm Klimadaten Gemeinlebarn 241
Anhang Teil 3: Schemata Kollektorkreis und Energiezentrale 243
Anhang Teil 4: Detaillierte Auswertung der Beleuchtungsvarianten 245

Kurzfassung

Das Projekt Zero Carbon Village hat die Planung und Konzeptionierung einer CO_2-neutralen Siedlung zum Ziel, die demonstrieren soll, dass im Gebäudesektor ein hohes Einsparungspotenzial in Bezug auf Energie- und Ressourcenverbrauch sowie CO_2-Emissionen besteht, das durch intelligente Konzepte und angepasste Technologien genutzt werden kann. Wesentlicher Bestandteil neben dem Energieversorgungskonzept auf Basis erneuerbarer thermischer Energie ist die Nutzung nachwachsender Rohstoffe wie Stroh und Holz als Baumaterial in einer rationellen Vorfertigungsweise. Bisher wurde die industrielle Forschung als Vorbereitung für das Demonstrationsprojekt durchgeführt. Dazu wurde in drei Entwicklungslinien geforscht:

1. Effiziente modulare Vorfertigung
    - Technischer Teil (industrielle Vorfertigung, architektonische Planung)
    - Organisatorischer Teil (Virtuelle Fabrik)
2. Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger
3. Hochenergieeffiziente und nachhaltige Baustoffe

Im Bereich *modulare Vorfertigung* wurden Bauteile entwickelt, die den Kriterien Passivhausstandard, hoher Vorfertigungsgrad und Rückbaubarkeit entsprechen. Dazu gehören strohballengedämmte Wand- und Dachelemente ebenso wie zellulosegedämmte Bodenelemente und Fertigteile für Fenster und Türen, die werkseitig vorgefertigt und an der Baustelle zusammengefügt werden. Luftdichte und wärmebrückenreduzierte Anschlüsse sowie lösbare Verbindungen, die den Rückbau und Umbau erleichtern, sind wesentliche Eigenschaften der entwickelten Elemente.

Mit dem Konzept der *Virtuellen Fabrik* werden einzelne Gebäudeteile oder aber auch ganze Gebäude dezentral von einem Netzwerk aus bestehenden KMU gefertigt, während Logistik, Planung und Marketing zentral durchgeführt werden, sodass Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit besonders auch in kleinen Unternehmen erhöht werden.

Die *Energieversorgung* des Zero Carbon Village beruht auf der maximalen Nutzung erneuerbarer thermischer Energie (insbesondere Solarenergie und Biomasse). Üblicherweise werden die meisten Haushaltsgeräte mit elektrischem Strom betrieben, obwohl viele eigentlich thermische Energiedienstleistungen bereitstellen (Heizung, Waschmaschine, Kühlschrank,…). Dabei entstehen Umwandlungsverluste. Mit thermischer Energie mit einem maximalen Temperaturniveau von (200–300 °C) können nicht nur alle thermischen Verbraucher im Haushalt betrieben werden, sondern durch den Einsatz einer Wärmekraftmaschine (z.B. Stirlingmotors oder einer ORC-Anlage) auch die verbleibenden elektrischen Geräte. Dadurch werden insgesamt Stromverbrauch und Umwandlungsverluste drastisch reduziert.

Die Entwicklung *hocheffizienter und nachhaltiger Baustoffe* aus nachwachsenden Rohstoffen stellt einen wichtigen Schritt zur Verringerung der „Grauen Energie“ dar. Auf Basis der bereits erteilten Zertifizierung von Strohballen (Projekt „Stroh-Cert“) wurden die Ballen an die Anforderungen der Fertigteilbauweise angepasst und die Herstellungstechniken weiter verbessert. Dazu kommt ein System für die Qualitätssicherung, um die erforderlichen Standards bei Strohballen einzuhalten und zu kontrollieren. Die Standardisierung des Baustoffes Stroh

ist Teil der Vorbereitungen für die Zertifizierung von Strohbaufertigteilen, die zu höherer, gleich bleibender Qualität und effizienterer Fertigung führen soll.

Abstract

The project “Zero Carbon Village” aims to plan a carbon neutral residential estate which shall demonstrate the high potential of the building sector with regard to saving energy and resources as well as reducing carbon emissions. This potential can be tapped by intelligent concepts and appropriate technologies. Essential to this is an energy supply system based on renewable thermal energy as well as using renewable raw materials such as straw and wood in an efficient prefabrication process. So far, industrial research has been carried out that forms the basis for a demonstration project. Three strands of development were followed:

1. Efficient modular prefabrication
    - Technical part (industrialized prefabrication, architectural design)
    - Organisational part (virtual factory)
2. Energy self-sufficiency
3. Highly energy-efficient and sustainable building materials

In the field of *industrialized prefabrication*, modular construction elements with a high degree of prefabrication were developed which fulfil the criteria of passive house standards, and allow for an easy deconstruction at the end of the building´s lifetime. This includes wall and roof elements insulated with straw and floor elements insulated with cellulosis, as well as prefabricated elements for windows and doors, which are assembled at the construction site. All developed elements show airtight and thermal bridge-free fittings and detachable connections which ease deconstruction.

According to the “virtual factory” concept SMEs produce the building parts in a decentralised way, while a central umbrella- organisation takes care of logistics, planning and marketing. Thereby efficiency and competitiveness can be increased.

The *energy supply system* of the Zero Carbon Village is based on the utilization of renewable thermal energy (solar, biomass). Usually, most household products run on electricity although they provide thermal energy services (heating, washing machine, refrigerator), thus leading to conversion losses. Thermal energy at a temperature level of up to 200-300°C allows for providing all thermal energy services in a household and by means of a stirling engine or an ORC machine even the remaining electrical household devices can be operated. This considerably reduces electricity consumption and conversion losses.

The development of *highly energy-efficient and sustainable building materials* based on renewable resources is an important step towards the reduction of “Grey Energy”. Based on the already accomplished certification of straw bales (project “Stroh-Cert”), the bales were adapted to the parameters of prefabrication and the production of bales was optimized. Additionally, a quality management system was developed for assuring that standards are complied with. The standardization of straw is a necessary step towards certification of prefabricated straw bale construction elements and towards higher quality and more efficient production.

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Einführung in die Thematik

Gebäude sind mit 40 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs der EU[1] einer der größten Energieverbraucher. Für Heizung und zunehmend auch für Raumkühlung wird Energie benötigt; und je schlechter dabei der thermisch-energetische Standard der Gebäude, desto höher ist hier der Verbrauch. Dazu kommt der Energiebedarf für Warmwasser und Endgeräte (Kochen, Waschen, Beleuchtung und andere derzeit elektrisch betriebene Geräte).

Mit dem Ziel vor Augen, Treibhausgasemissionen zu reduzieren und die Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen zu forcieren, bietet sich daher gerade im Gebäudesektor ein großes Einsparpotenzial. Einerseits kann der Energieverbrauch der Gebäude und Geräte reduziert werden, andererseits kann für den verbleibenden Bedarf ein autonomes System mit erneuerbaren Energieträgern genutzt werden.

Darüber hinaus ist das Bauwesen auch ein sehr rohstoffintensiver Sektor, in dem derzeit vor allem mineralische und fossile Rohstoffe zum Einsatz kommen. Dadurch ergeben sich große Abfallmassen – einerseits nach dem Rückbau der Gebäude, andererseits durch Abfälle an der Baustelle (Verpackungen, Kunststoffrohre, Verschnitt von Dämmstoffen etc.). Auch hier gibt es mehrere Strategien zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs: Mineralische und fossile können durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden; und die Fertigung der Gebäude(teile) kann logistisch und produktionstechnisch optimiert werden, sodass genau für den jeweiligen Bedarf produziert und geliefert wird, möglichst wenige Überschüsse erzeugt werden und auch kein unnötiger Materialverbrauch durch Planungs- und Montagefehler entsteht. Dies lässt sich vor allem durch die standardisierte Vorfertigung von Bauteilen und durch die effiziente Koordination der beteiligten Firmen verwirklichen.

1.2 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Die Bauindustrie besitzt ein hohes Optimierungspotenzial entlang der gesamten Produktionskette von der Rohstoffgewinnung über die Baustoffproduktion bis hin zum Einbau und der Nutzung von Gebäuden. Dies betrifft vor allem die Auswahl der Rohstoffe (Energie, Baustoffe) und die Effizienz der Produktion. Auch für die Bereiche Rückbau, Recycling und Entsorgung ist eine Steigerung der Ressourceneffizienz dringend erforderlich. Die Baurestmassenproblematik hat trotz verstärktem Baustoffrecycling nicht an Brisanz verloren. Zusätzlich steigt der Verbrauch an elektrischer Energie in den Haushalten an und damit die CO_2-Emissionen.

1.3 Zielsetzungen des Projektes

Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern, CO_2-Neutralität von Gebäuden und Siedlungen, Reduktion des Energieverbrauchs, Reduktion der „Grauen Energie“ für Baustoffe sind wesentliche Ziele dieses Projekts. Mit Lösungen für energieautonome Gebäude und Siedlungen soll gezeigt werden, wie viel Energie und Materialressourcen im Bauwesen eingespart wer-

[1] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union L 153/13, S. 1.

den können und wie damit auch Treibhausgas-, vor allem CO_2-Emissionen reduziert werden. Darüber hinaus sollen für die heimische Bauwirtschaft neue Impulse in Form von Know-how und Fertigungsmöglichkeiten bis hin zu neuen Geschäftsfeldern und Erschließung neuer Märkte erzeugt werden.

Das Projekt gliedert sich in drei Entwicklungsbereiche:

1. Effiziente modulare Vorfertigung
    a. Technischer Teil (Industrielle Vorfertigung, Architektonische Planung) (AP 1)
    b. Organisatorischer Teil (Virtuelle Fabrik) (AP 2)
2. Energieautonomie (AP 3)
3. Hochenergieeffiziente und nachhaltige Baustoffe (AP 4)

AP 1: Mit der Erhöhung des Vorfertigungsgrades und der Verwendung von Modulen können die Fertigungsschritte auf der Baustelle und in weiterer Folge Kosten reduziert werden. Trotz der Standardisierung der Bauteile soll jedoch möglichst hohe Flexibilität bestehen, damit die Gebäude individuell gestaltbar sind. Für die Entwicklung modularer Fertigteile wurden folgende Aspekte im Projekt konsequent berücksichtigt: Lösbarkeit der Verbindungen bei Wandkonstruktionen, Anschlüsse, Luftdichtheit, Wärmebrücken, Wartungs- und Rückbaumöglichkeiten. Wichtig ist auch der Entwurf von Grundrisstypologien, welche (bei gleichzeitiger Flexibilität) die Module sowie die Haustechnik möglichst effizient miteinander verbinden (kreuzungsfreies Führen der Leitungen, Minimierung der Leitungslängen etc.).

AP 2: Sämtliche Akteure, die an der Errichtung eines „Zero Carbon Village“ bzw. einzelner Gebäude beteiligt sind, werden logistisch miteinander verbunden, um die vorhandenen Ressourcen (Zeit, Material, Kompetenzen) effizient zu nutzen. Dazu werden ihre Aufgabenbereiche im System einer „Virtuellen Fabrik“ aufeinander abgestimmt. Durch den Zusammenschluss in der „Virtuellen Fabrik“ wird die Wettbewerbsfähigkeit kleinteilig organisierter Betriebe erhöht. Im Projekt wurden mehrere Szenarien mit unterschiedlichen Aufgabenverteilungen für die Herstellung von modularen Gebäuden verglichen.

AP 3: Ziel des Arbeitspaketes „Energieautonomie“ war es, die Energieversorgung der Gebäude unabhängig von fossilen Energieträgern und von einer Netzanbindung zu ermöglichen. Hauptenergiequelle ist dabei Solarenergie, die möglichst ohne Umwandlungsverluste genutzt werden soll. Dafür werden Endgeräte (Herd, Kühlschrank, Waschmaschine etc.) eingesetzt, die anstelle von elektrischer Energie mit thermischer Energie betrieben werden. Um die nötige thermische Energie bereitzustellen, werden innovative Technologien genutzt und in einem Haustechnikmodul zusammengeführt: Dazu zählen beispielsweise Solarkollektoren, Wärmeträger- und Speichermedien, Biomasse-Backup-System oder Stirlingmotor.

AP 4: In den modularen Gebäudeaufbau aus AP 1 wurden energieeffiziente und nachhaltige Baustoffe einbezogen, wobei hier der Schwerpunkt auf Strohballen als Dämmstoff lag. Die Produktion der Strohballen wird so weiterentwickelt, dass sie als standardisierte (Fertigteil-)Komponenten in das Modulsystem der Gebäude integriert werden können – dazu gehören Optimierungen der Abmessungen, der Presstechnik und der Qualitätssicherung. Entsprechende Versuchsaufbauten und Bauteilprüfungen bereiten in weiterer Folge auch die Zulassung von genormten Fertigteilelementen aus Stroh vor.

AP 5: Die Ergebnisse aus AP 1 – AP 4 wurden in Hinblick auf die Umsetzung in einer Demonstrationssiedlung am Standort Traismauer/NÖ zusammengeführt. Dazu wurde der Wei-

terentwicklungsbedarf der Bereiche Modulare Vorfertigung, Energieversorgung und Strohballen bestimmt und die experimentelle Entwicklung von Prototypen geplant. Für die Siedlungsplanung wurde ein Vorentwurf erstellt, das Demonstrationsprojekt wurde konzipiert und ein Arbeits- und Zeitplan für die Umsetzung festgelegt.

1.4 Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts

In Kapitel 2 wird der Hintergrund des Projekts aufbereitet, insbesondere Stand der Technik, Innovationsgehalt und Methoden des Projekts. Die Kapitel 3 bis 6 stellen die Ergebnisse aus den Forschungen und Entwicklungen des Projekts dar (Modulare Vorfertigung von Gebäudekomponenten; Virtuelle Fabrik – Organisationsstruktur der Fertigung; Energieversorgung; Strohballen als Dämmstoff). Auf Basis dieser Ergebnisse wird die geplante Weiterentwicklung und Umsetzung in einem Demonstrationsprojekt beschrieben (Kapitel 7), was zugleich die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen und den Ausblick auf weiterführende Forschung und Entwicklung darstellt. Darauf folgt eine Darstellung, welchen Beitrag das Projekt für das Gesamtprogramm leistet (Kapitel 8). Literatur-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis befinden sich in den Kapiteln 9 bis 11. Ergänzende Details können im Anhang gefunden werden.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Stand der Technik

Modulare Vorfertigung

Der Marktanteil für Fertighäuser in Österreich liegt bei über 30 Prozent,[2] dazu kommt noch die Vorfertigung einzelner Gebäudeteile (z. B. gedämmter Dach- und Wandelemente). Ein Zweck der modularen Aufbauten ist es, die Errichtungszeit zu verkürzen. Nicht immer werden dabei jedoch die ökologischen Vorteile voll ausgeschöpft, z. B. wenn lösbare Schraubverbindungen zwar den Rückbau und die Wiederverwertung grundsätzlich ermöglichen würden, sie aber im Zuge der Montage zu einem unlösbaren Verbund vergossen werden. Auch der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoff in Fertigbauteilen könnte noch stärker forciert werden.

Für die modulare Vorfertigung von Haustechnikkomponenten und Energieversorgungssystemen besteht ebenfalls noch Entwicklungspotenzial, besonders im Wohnbau. Anschlüsse, Bauteilverbindungen und Einbauten sollten einen Fokus in dieser Weiterentwicklung bilden.

Was die organisatorische Seite der Vorfertigung betrifft, ist es notwendig, für die kleinteilige Bauwirtschaft, wie sie in Österreich vorherrschend ist, wirtschaftliche Lösungen zu finden, damit die Firmen im Fertigteilsektor konkurrenzfähig bleiben oder werden. Derzeit werden die einzelnen Kompetenzen der Betriebe noch nicht so stark miteinander vernetzt, dass eine gemeinsame, auch international wettbewerbsfähige Produktion von Gebäude(teile)n möglich ist.

Energieversorgung

In Wohngebäuden ist der größere Anteil des Energiebedarfs thermischer Natur (Heizen, Warmwasser, Kochen, Kühlen). Bei der Verwendung von elektrischer Energie für thermische Energiedienstleistungen entstehen erhebliche Verluste, daher ist es wesentlich effizienter, die jeweils eingesetzte Energieform am Bedarf auszurichten.

Strohballen

Die Bauindustrie ist ein Sektor mit vergleichsweise hohem Materialinput, vor allem von fossilen und mineralischen Rohstoffen. Die Umweltbelastung (durch Emissionen und Energieaufwand) ist entsprechend hoch, und die Entsorgung der Baurestmassen ist ebenfalls ein schwerwiegender ökologischer, aber auch ökonomischer Faktor. Die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, die bei diesen Kriterien wesentlich besser abschneiden, ist hingegen noch nicht ausreichend verbreitet, obwohl das Potenzial dazu vorhanden wäre.

2.2 Vorarbeiten

Die Gruppe Angepasste Technologie als Projektleiterin hat bereits in Vorprojekten die drei Entwicklungslinien des Projekts Zero Carbon Village (Vorfertigung von Gebäuden, Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und Energieversorgung mit thermischer Energie) vorbereitet:

[2] http://www.fertighaus.de/lexikon/Europ%E4ischer+Fertighausverband.htm (17.08.2012)

Die Planung und Errichtung eines Passivhauses aus nachwachsenden Rohstoffen wurde mit dem S-HOUSE in Niederösterreich (Wimmer et al. 2005) demonstriert.
In einem weiteren HdZ-Projekt (Wimmer 2009) wurden die Möglichkeiten einer industriellen Serienfertigung von ökologischen Passivhäusern untersucht, sodass diese in einem größeren Maßstab und mit höherer Ausführungsqualität auch wirtschaftlich hergestellt werden können.
Stroh als Dämmstoff wurde zuletzt mit dem Projekt StrohCert (Wimmer et al. 2011) weiterentwickelt. Mit der Optimierung und Vereinheitlichung von Produkteigenschaften wurde für qualitativ hochwertige Strohballen die Österreichische Technische Zulassung erwirkt. Dazu kam die Entwicklung von Logistik- und Qualitätsmanagementsystemen, um den Rohstoff Stroh sicher und in gleichbleibend hoher Qualität vom Feld bis zur Baustelle bringen zu können. Ein Folgeschritt, der im Projekt Zero Carbon Village gemacht wurde, war die Weiterentwicklung von Strohballen in Fertigteilelementen.
Die Innovationen im Bereich der Energieversorgung wurden unter anderem im HdZ-Projekt „Strategieentwicklung für (technische/wirtschaftliche Machbarkeit von) energieautarken Gebäuden“ vorbereitet. Dort wurde erarbeitet, wie ein Gesamtsystem für ein Gebäude aussehen kann, das allein auf Basis thermischer erneuerbarer Energie basiert, ohne zusätzliche elektrische Energie aus dem Netz zu benötigen. Für das Zero Carbon Village wurde dieses grundsätzliche Systemlayout detaillierter ausgeführt, z. B. mit der Auswahl von Komponenten, der Dimensionierung und Lösungen für die Steuerung.
Das derzeit laufende Projekt Zero CO_2 Cooler enthält die Entwicklung eines Kühlgeräts für den Haushalt, das mit thermischer Energie betrieben wird. Dieses Endgerät soll in weiterer Folge in das ZCV-System integriert werden.

2.3 Innovationsgehalt des Projektes

Das Projekt Zero Carbon Village hat Lösungen für eine Reihe von aktuellen Fragestellungen in den drei Entwicklungslinien erarbeitet. Die modulare Vorfertigung von Gebäuden wurde durch detaillierte Planungen und praktische Versuche optimiert, wobei die Elemente der Gebäudehülle mit dem nachwachsenden Rohstoff Stroh gedämmt wurden, der speziell für diesen Zweck adaptiert wurde. Auch für die Haustechnikkomponenten wurden modulare Lösungen entwickelt. Die Anschlüsse und Verbindungen wurden so geplant, dass die Elemente lösbar und rückbaubar sind.
Mit der hocheffizienten Strohballendämmung entstehen Gebäude, die bereits durch ihre Konstruktion und Materialität einen äußerst niedrigen Heizenergiebedarf haben. Das ist die Voraussetzung für das Energieversorgungskonzept.
Die Energieversorgung des Zero Carbon Village basiert auf der maximalen Nutzung thermischer erneuerbarer Energie. Mit dieser thermischen Energie werden nicht nur die üblichen Verbraucher versorgt (Heizung, Warmwasser), sondern auch alle anderen thermischen Dienstleistungen bereitgestellt (Kühlen, Kochen). Der Restbedarf an elektrischer Energie (für Beleuchtung, TV, Pumpen etc.) wird über Umwandlung ebenfalls aus der thermischen Energie gewonnen. Die Endgeräte wurden speziell für dieses System entwickelt bzw. ausgewählt, sodass Bedarf und Angebot an Energie optimal aufeinander abgestimmt sind.

2.4 Methoden, Vorgangsweise, Datenquellen

Industrielle Vorfertigung:

Für die Entwicklung von modularen Fertigteilen wurden Recherchen bei diversen Herstellerfirmen durchgeführt, Stakeholder-Workshops abgehalten, Prototypen konzipiert, geplant und hergestellt und Detailpläne für Anschlusslösungen und Bauteilaufbauten entwickelt. Dazu kam die Analyse von Fertigungskonzepten bei Projektpartnern. Für die architektonische Gestaltung wurden Grundrisse und Pläne in verschiedenen Maßstäben gezeichnet.

Virtuelle Fabrik:

Stakeholder-Workshops dienten zur Abklärung der derzeitigen Situation und der Perspektive von Fertigteilherstellern sowie anderen Produzenten in der Projektregion in Bezug auf eine Kooperation in einer Virtuellen Fabrik. Zum selben Zweck wurden Interviews und Umfragen in Netzwerken und Clustern durchgeführt, auch um abzuklären, inwieweit das Modell der Genossenschaft sich für diese Form der Kooperation eignet.

Bereits umgesetzte Fertigungsprozesse für modulare Gebäude wurden in Form von System-Maps dargestellt und analysiert. Dabei werden die beteiligten Akteure mit ihren jeweiligen Aufgaben dargestellt und die logistischen Zusammenhänge (Material- sowie Informationsflüsse) aufgezeigt. Um Optionen für die Konfiguration von Fertigteilgebäuden zu eruieren, wurden bestehende Software-Lösungen recherchiert.

Energieversorgung:

Komponenten und Technologien für Energieversorgung sowie Endgeräte wurden recherchiert bzw. für diesen Zweck entwickelt. Für die Energiebilanz und die Dimensionierung des Systems wurden Simulationen und Berechnungen durchgeführt, wobei Messwerte des Standorts miteinbezogen wurden. Praktische Versuche und Messungen wurden für die Weiterentwicklung der Endgeräte angewandt.

Strohballen:

Um das Produktionsverfahren für Strohballen zu optimieren, wurden praktische Versuche mit verschiedenen Pressen durchgeführt und unterschiedliche Ballenformate hergestellt. Messverfahren und Messgeräte für die Qualitätssicherung wurden in Probedurchläufen getestet und verglichen. Da es verschiedene Möglichkeiten gibt, an welchen Stellen des Produktionsprozesses die Qualitätssicherung durchgeführt werden kann, wurden verschiedene Szenarien dafür entworfen, getestet und bewertet.

3 Modular vorgefertigte Gebäudekomponenten

In Vorarbeiten wurden bereits Strategien für modulare Fertigteilhäuser in Passivhausbauweise entwickelt.[3] Für den Gebäudeaufbau wurde dabei folgende Konstruktionsweise vorgeschlagen: Das Fundament wird auf Punktfundamenten angebracht, um Wärmeverluste zu verringern und den Rückbau zu vereinfachen. Die Haustechnik wird in einem Modul vorinstalliert und zentral im Gebäude untergebracht. Vorgefertigte Funktionsmodule, die bereits Komponenten wie Küchenzeile, Sanitäreinrichtungen u. Ä. enthalten, können zugleich eine statische Funktion haben. Anschlüsse und Leitungen sind in diesen Modulen bereits vorinstalliert. Die Gebäudehülle wird dem Kundenwunsch (bzgl. Stil, Fassade etc.) entsprechend vorgefertigt und an der Baustelle zusammengefügt. Das Dach wird von der Gebäudehülle entkoppelt ausgeführt.

Basierend auf diesen Vorarbeiten wurden folgende Kriterien für die Herstellung der Bauteile für die Gebäudehülle im Zero Carbon Village festgelegt:

- Passivhausstandard (Luftdichtheit, hohe Dämmstärke)
- Hoher Vorfertigungsgrad
- Einfacher Rückbau (lösbare Verbindungen, modularer Aufbau)

Für die Weiterentwicklung galt es vor allem die erarbeiteten Lösungen und Ergebnisse in die Praxis umzusetzen und zu verbessern. Anhand von Prototypen für Wand-, Boden- und Dachelemente wurden **Detaillösungen** entwickelt, die die genannten Kriterien erfüllen. Die Fertigung der einzelnen Elemente werkseitig und an der Baustelle ebenso wie die Anschlüsse zu anderen Bauteilen werden in Kapitel 3.1 beschrieben.

Um ein **Gesamtkonzept** für die rationelle Gebäudeherstellung zu entwickeln, das Vorfertigungsgrad, Flexibilität und Effizienz der Fertigungsschritte erhöht, wurden Herstellungsvarianten des Projektpartners *Atelier Werner Schmidt* analysiert, die dieser bei Strohballenbauten umgesetzt hat. Daraus wurden Schlussfolgerungen für die Fertigung des Zero Carbon Village getroffen (Kapitel 3.2).

Auf der Grundlage des Fertigungskonzepts können verschiedene **architektonische Konzepte** realisiert werden (Einfamilienhaus, Reihenhaus, mehrgeschoßige Wohnbauten). Details und Pläne für diese Varianten befinden sich in Kapitel 3.3.

Die **Haustechnik** soll im Zero Carbon Village ebenfalls so weit wie möglich vorgefertigt werden. Lösungen für die Umsetzung und für die notwendigen Anschlüsse werden in Kapitel 3.4 beschrieben.

3.1 Prototypenherstellung – Entwicklung von Detaillösungen

Ein Weg zur kosten- und ressourceneffizienten Gebäudeherstellung ist die modulare Vorfertigung von Bauteilen, beispielsweise die Produktion von Wandelementen, die bereits werkseitig gedämmt und mit Leitungen versehen werden oder die bereits mit integrierten Fenstern zur Baustelle geliefert werden. Durch diese standardisierte Fertigung lassen sich Fehler vermeiden, die bei der individuellen Fertigung an der Baustelle entstehen. Allerdings sind auch bei vorgefertigten Modulen Mängel möglich. Das betrifft zunächst die Verbindungen zwischen den einzelnen Modulen, die im Idealfall luftdicht ausgeführt werden und lösbar

[3] Wimmer 2009.

sind, sodass der Rückbau erleichtert wird. Weitere kritische Stellen sind die Anschlüsse zwischen verschiedenen Bauteilen, für die wärmebrückenfreie und luftdichte Lösungen entwickelt werden müssen. Außerdem ist die Einbringung des Dämmstoffs (werkseitig oder an der Baustelle) genau zu planen, damit die Dämmschicht einwandfrei ausgeführt wird.
Um Detaillösungen für diese Punkte zu entwickeln, wurden praktische Vorversuche gemacht und in weiterer Folge Prototypen geplant und gebaut: vorgefertigte modulare Bauteile für Wand, Boden, Dach/Decke, die an einer Testbaustelle zusammengesetzt wurden.

3.1.1 Vorversuche für die modulare Vorfertigung

Vorarbeiten für die technische Umsetzung wurden vom Projektpartner *Ökohaus Systembau* unter Verwendung der eigens entwickelten Herstellungstechnik von Brettschichtholz-Wandelementen geleistet. Die 3- oder 5-lagigen Brettschichtholz-Plattenelemente mit Abmessungen von bis zu 20 m Länge, 4 m Breite und 400 mm Stärke, die in einer Vakuumpresse mit lösungsmittelfreiem PU-Kleber hergestellt werden, eignen sich als Konstruktionsgrundlage für die Modulelemente. Durch präzise CNC-Fräsung können Knotenpunkte mit minimalem Anteil an metallischen Verbindungsmitteln realisiert werden (z.B. zimmermännische Schwalbenschwanz-Verbindung). Die Luftdichtheit dieser Anschlüsse wird durch verpresste Dichtbänder sowie oberflächige Abklebungen garantiert.
Derart hergestellte Funktionsmodule beinhalten bereits sämtliche Heiz-, Kühl- und Lüftungskomponenten. Die Leitungen werden innenwandseitig direkt in die Brettschichtholz-(BSH-)Platten gefräst. Je nach Wunsch des Kunden kann ein flexibler Ausbaugrad umgesetzt werden (z.B. fertige Innenwandoberflächen, Küchengeräte etc.). Auch die Kombination mehrerer solcher Funktionsmodule innerhalb eines Gebäudes ist denkbar, sodass der Vorfertigungsgrad und damit die Kosteneffizienz nochmals deutlich erhöht werden können.

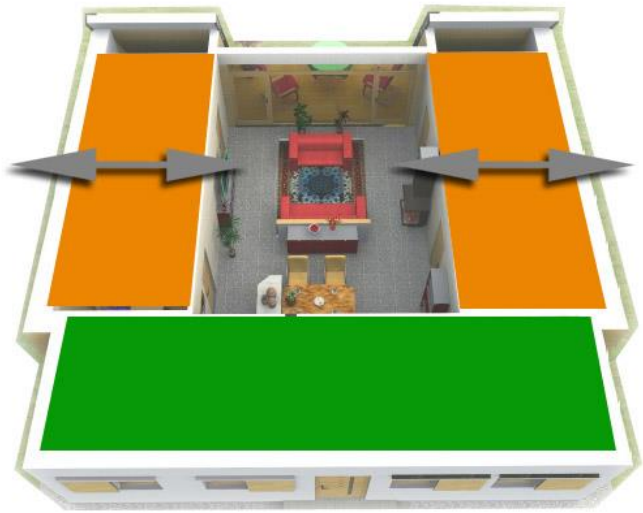


Abbildung 1: Entwurfskonzept zur Kombination mehrerer Funktionsmodule innerhalb eines Gebäudes - nur EG-Ebene (Grafik: Ökohaus Systembau GmbH)

Beanspruchungstests der Verbindungen zwischen den Modulen wurden vom Projektpartner bereits mit erfolgreich durchgeführt. Neben der Verwendung dieser Funktionsmodule in horizontaler Reihung ist auch eine mehrgeschoßige Anordnung durch vertikale Stapelung denkbar sowie statisch nachweislich umsetzbar.

Die einzelnen Wandelemente (BSH-Platten) des Funktionsmoduls lassen sich durch die gewählte Fügetechnik bei den Plattenstößen (Dichtbänder, oberflächige Verklebung, Verschreibung) sowie durch die präzisen zimmermännischen Holzverbindungen einfach wieder lösen.

Abbildung 2: BSH-Wandelement (Rückwand) mit Einfräsung für Schwalbenschwanz-Holzverbindung

Aufgrund des geringen Material-Mixes und des gewählten Dämmstoffs (zertifizierte Baustrohballen) sowie der Einbauvariante (Ausfüllen der Hohlkammern) kann die dämmende Außenhülle problemlos wieder entfernt werden, was eine direkte Wiederverwendbarkeit a) der einzelnen Wandelementplatten oder b) der gesamten Rohkonstruktion des Funktionsmoduls (ohne Dämmebene) ermöglicht.

Abbildung 3: Strohballen innerhalb der Rahmenkonstruktion auf der Rückwand (Trägerplatte)

Aufbauend auf diesen Vorversuchen wurden an einer Testbaustelle Wand-, Boden- und Deckenelemente als Prototypen für die Herstellungstechnik im Zero Carbon Village konzipiert und umgesetzt. Sie sind mit nachwachsenden Rohstoffen gedämmt (Stroh für Decke und Wände, Zellulose für Boden). Alle Herstellungstechniken werden im Folgenden im Detail beschrieben und in Hinblick auf die genannten Kriterien wie Rückbau, luftdichte Anschlüsse und Vorfertigungsgrad beurteilt.

3.1.2 Wandelemente

3.1.2.1 Wandelement 1 – KLH-Plattenelemente mit Strohballendämmung

Strohballen mit einer Abmessung von 35 x 80 x 45 cm werden in dieser Variante vor eine Schalung aus 3-lagigem Kreuzlagenholz (KLH/CLT – Cross Laminated Timber) gesetzt und mit zwei Schichten Lehmputz abgeschlossen. Mithilfe einer Lattung wird eine Hinterlüftungsebene geschaffen, die abschließend verschalt wird. Die Strohballen werden mit Strohballenschrauben fixiert (Abbildung 4, rechts). Die Schrauben bestehen aus Biokunststoff (Treeplast) und wurden für das Vorgängerprojekt S-HOUSE des Projektleiters *GrAT* entwickelt. Sie ermöglichen eine wärmebrückenfreie, rückbaubare und kompostierbare Befestigung der Strohballen.

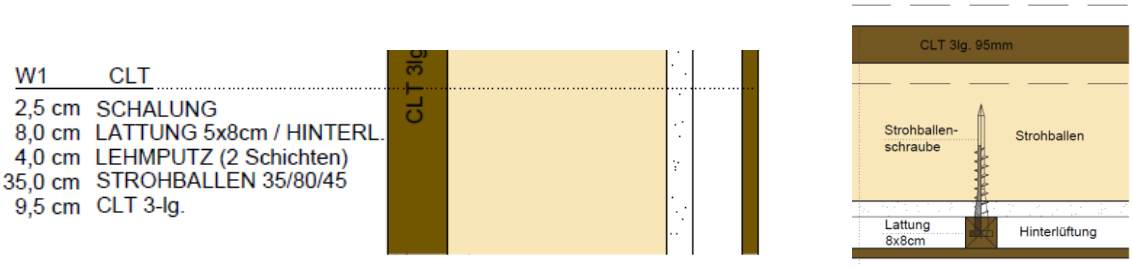


Abbildung 4: Wandelement 1 – KLH-Plattenelemente mit Strohballendämmung (Grafik: GrAT)

Alternativ können auch statt einer hinterlüfteten Variante die Strohballen verputzt werden (in diesem Fall mit Kalkputz statt Lehmputz).

Anschlüsse

Am Anschluss von Außenwand zu Boden ist auf die Lastabtragung der Strohballen, Wärmebrückenreduktion und Luftdichtheit zu achten. Als erste Möglichkeit wurde überlegt, die Bodenplatte auskragen zu lassen, sodass sie die Last der Strohballenwand abträgt (Abbildung 5, links). Eine in Bezug auf Wärmebrücken verbesserte Variante ist die Lastabtragung mittels eines hochkant stehenden Randträgers (Abbildung 5, Mitte). Ein liegender Randträger würde die Montage und die Konstruktion am Gebäudeeck zusätzlich verbessern (Abbildung 5, rechts); Windpapier in der Putzschicht sorgt für Luftdichtheit (rote Linie).

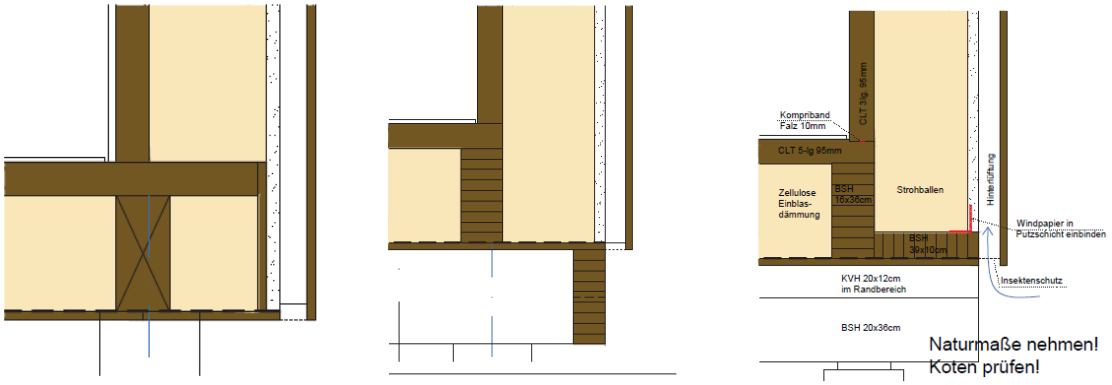


Abbildung 5: Entwicklung der Anschlüsse von Außenwand zu Boden (Grafik: GrAT)

An der Gebäudeaußenecke kann der Außenputz auf den Strohballen ums Eck geführt werden (Abbildung 6, links), eine konstruktiv sinnvollere Möglichkeit ist jedoch die Einfassung durch vertikale Konstruktionshölzer, die das Auskippen der Strohballen verhindert (Abbildung

6, Mitte). Die Luftdichtheit an dieser Stelle wird durch Windpapier erreicht (Abbildung 6, rechts).

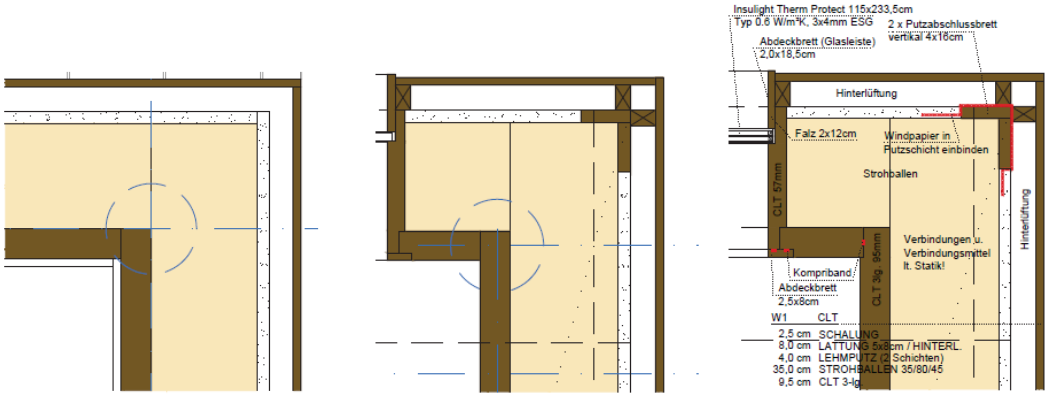


Abbildung 6: Entwicklung der Ausführung der Gebäudeecke (Grafik: GrAT)

3.1.2.2 Wandelement 2 – Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Strohdämmung

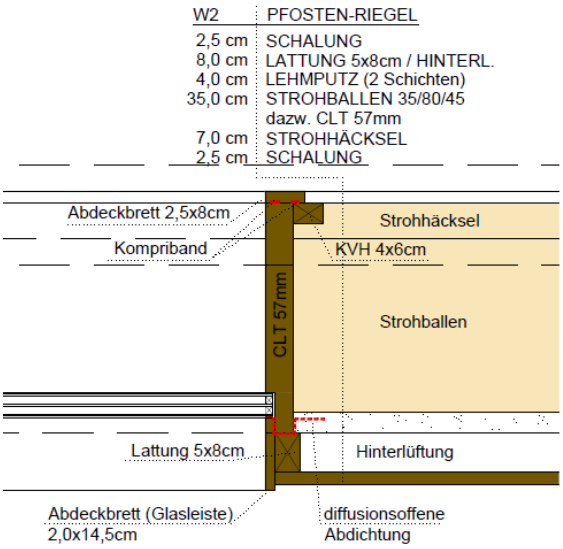


Abbildung 7: Wandelement 2 – Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Strohdämmung (Grafik: GrAT)

Die Pfosten-Riegel-Konstruktion wird ebenso wie das Wandelement 1 hinterlüftet ausgeführt und innen sowie außen verschalt. Auf der Innenseite kann anschließend an die Strohballen entweder eine zusätzliche Dämmebene mit Strohhäcksel, aber auch eine Installationsebene angebracht werden. Die Luftdichtheit an den Schnittstellen der einzelnen Elemente wird durch die Verwendung von Kompribändern erreicht.
Diese Variante kann im Vergleich zu Wandelement 1 leichter auch von lokalen Zimmereien gefertigt werden.

3.1.3 Bodenelemente

Für die Herstellung von Fußböden im Zero Carbon Village wurden Prototypen aus Holzfertigteilen entwickelt, die mittels Zelluloseeinblasung gedämmt werden können. Dadurch kann ein funktional und qualitativ hochwertiger Boden in kurzer Zeit an der Baustelle hergestellt werden.

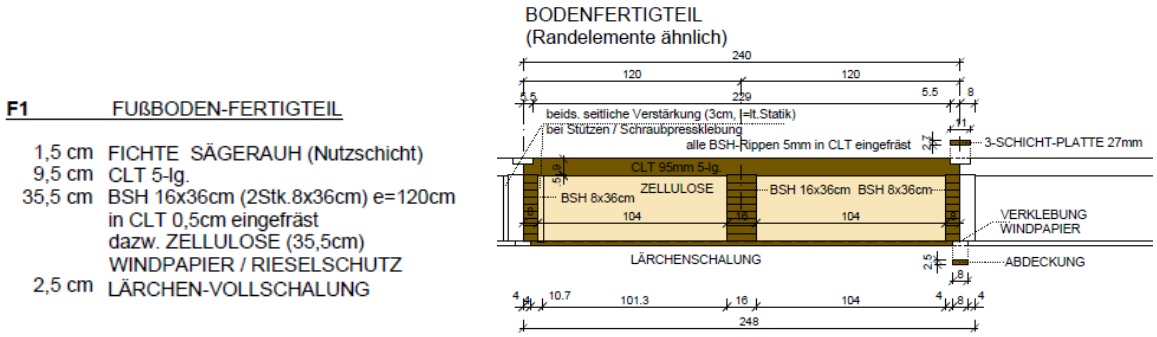


Abbildung 8: Bodenfertigteil mit Zellulosedämmung

Die Einblasung der Zellulose ist entweder werkseitig oder auch an der Baustelle möglich.

Abbildung 9: Anlieferung der vorgefertigten Bodenelemente

Abbildung 10: Vorbereitung der Zelluloseeinblasung (links); fertig eingeblasene Zellulosedämmung in Bodenelement (rechts)

Anschlüsse

Die Luftdichtheit der Holzfertigteile selbst wird durch Kompribänder in der werkseitigen Montage der Frontabschlussplatte gewährleistet (Abbildung 11).

Abbildung 11: Luftdichter Anschluss der Frontabschlussplatte mittels Kompriband (werkseitig)

An der Baustelle ist an mehreren Anschlüssen auf Luftdichtheit zu achten (siehe Abbildung 12): Zunächst können zwei Bodenfertigteile mit Kompribändern im Bereich der Stoßfuge luftdicht aneinander angeschlossen werden. Auf der Unterseite der Bodenelemente werden auf den Stoßfugen Abdichtungsleisten angebracht.

Abbildung 12: Kompribänder im Stoß zwischen zwei Bodenelementen (links); Anbringung der Abdichtungsleisten auf den Stoßfugen an der Unterseite der Bodenelemente (rechts)

Die Varianten für den Anschluss von Bodenelement zu Außenwand wurden bereits bei der Darstellung des Wandelements 1 gezeigt (siehe Seite 24).

Für den Anschluss von Bodenelement zu Fundament wurden ebenfalls mehrere Varianten entwickelt. Im Sinne einer materialsparenden und leicht rückbaubaren Bauweise wurde von Einzelfundamenten ausgegangen. Über diesen werden BSH-Träger montiert. In der ersten Entwicklungsstufe liegen die Träger in der Dämmebene des Bodenelements, die Bodenplatte darüber kragt aus und trägt die Last der Außenwand ab (Abbildung 13, oben links). Diese Variante erhöht allerdings die Gefahr von Wärmebrücken und mangelnder Luftdichtheit durch die relativ hohe Anzahl an Fugen.

Daher wurde als zweite Variante der BSH-Träger unterhalb der Dämmebene geplant (Abbildung 13, oben rechts). Die Bodenplatte endet in dieser Variante mit der Holzwand; eine zusätzliche 3-Schicht-Platte trägt nun die Last der Außenwand ab. Da diese Platte dünner als die Bodenplatte ist, werden Wärmebrücken im Vergleich zur ersten Variante reduziert.

Eine weitere Verbesserung ist das Fälzen des Anschlusses zwischen Bodenplatte und Holzwand, was die Luftdichtheit an dieser Stelle begünstigt; Windpapier in der Putzschicht sorgt außerdem für Luftdichtheit zwischen Bodenelement und Hinterlüftungsebene (Abbildung 13, unten).

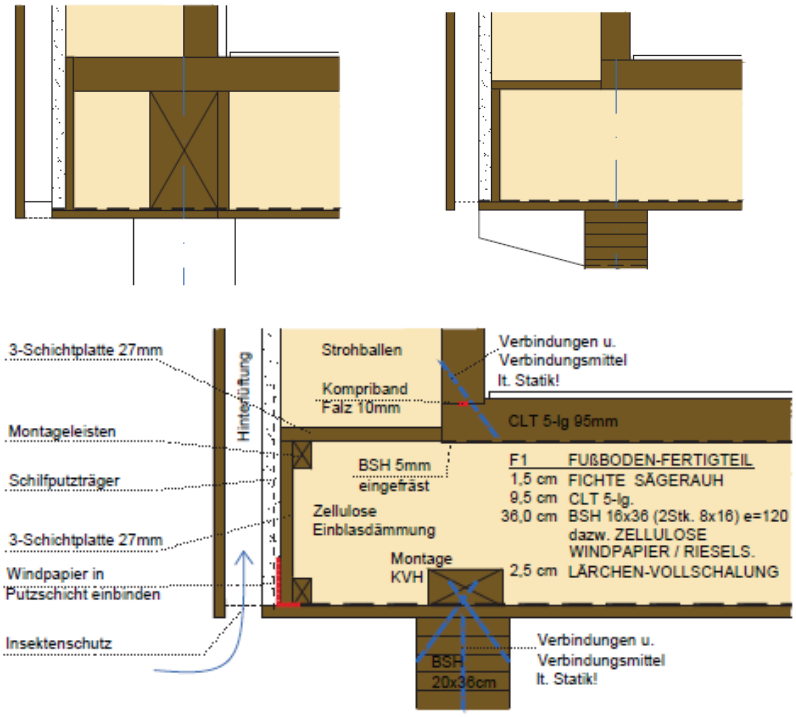


Abbildung 13: Entwicklung der Anschlüsse von Bodenelement zu Fundament

3.1.4 Dachelemente

Auch die Dachelemente im Zero Carbon Village sollen die Kriterien Passivhaustauglichkeit, hoher Vorfertigungsgrad und Rückbaubarkeit erfüllen. Dazu wurden Prototypen entwickelt, die aus werkseitig vorgefertigten Holzelementen bestehen, welche an der Testbaustelle mit Strohballen gedämmt wurden. Damit sind hohe Dämmstärken möglich. Abbildung 14 zeigt den Aufbau der Dachelemente vor und nach der Dämmung.

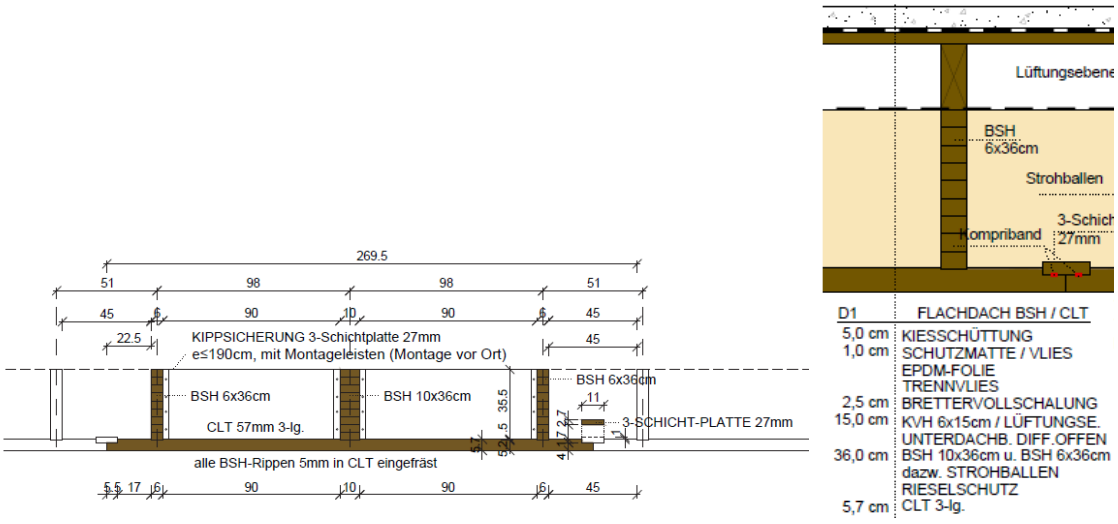


Abbildung 14: Werkseitig vorgefertigte Dachelemente (links); nach der Dämmung an der Testbaustelle (rechts)

Die Dachelemente werden zunächst ohne Träger hergestellt, diese werden werkseitig in eine eingefräste Nut gesetzt (Abbildung 15).

Abbildung 15: Dachelemente ohne Träger – eingefräste Nut zeigt die spätere Position der Träger (links); werkseitig fertiggestellte Dachelemente (rechts)

Die werkseitig fertiggestellten Dachelemente werden an die Baustelle geliefert und dort auf die bereits hergestellte Außenwandkonstruktion montiert.

Abbildung 16: Montage der Dachelemente auf der Testbaustelle

Bevor die Elemente mit Strohballen gedämmt werden (Abbildung 18), werden die Stoßfugen luftdicht gemacht (Abbildung 17).

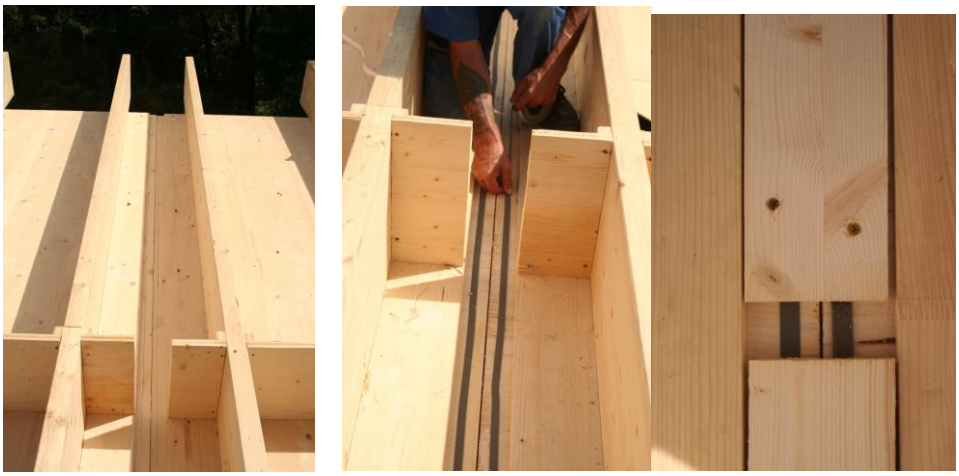


Abbildung 17: Die Stoßfuge zwischen zwei Dachelementen (links) wird mit Kompribändern (Mitte) und Abdeckleisten (rechts) luftdicht gemacht

Abbildung 18: Strohballen werden an der Testbaustelle in die montierten Dachelemente eingebracht

Anschlüsse

Für die Traufenlösung wurden drei Varianten entwickelt. Die erste Variante für das Traufendetail sieht eine konstruktive Trennung zwischen Dachdämmung und Außenwanddämmung vor (Abbildung 19, links). Der Außenputz wird dabei bis zur Kante des Unterdachs geführt. In einer zweiten Variante entfällt die Trennung zwischen Dach- und Außenwanddämmung, wodurch Wärmebrücken reduziert werden; der Außenputz endet beim Brettabschluss des Dachträgers (Abbildung 19, Mitte). In der dritten Variante (Abbildung 19, rechts) ist durch zusätzliches Windpapier an den Schnittstellen zur Putzschicht die Luftdichtheit an den kritischen Stellen gewährleistet (rote Linie).

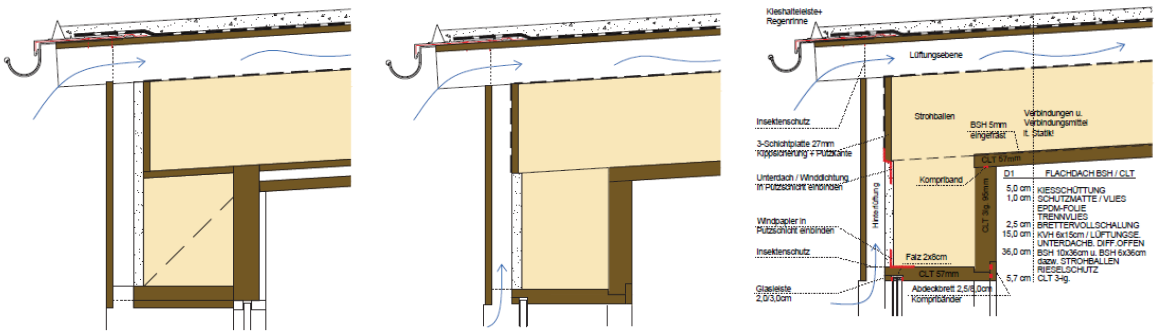


Abbildung 19: Entwicklung des Traufendetails

Für den Ortgang (Anschluss von Dach- zu Wandelement) wurden ebenfalls verschiedene Varianten entwickelt. In Variante 1 bildet die untere Platte des Dachelements den Dachüberstand und trägt die Last der Strohballen über die Außenwand ab (Abbildung 20, oben links). Im Sinne einer Wärmebrückenreduktion ist es jedoch sinnvoll, eine dünnere Platte einzusetzen und die untere Platte des Dachelements nur bis zur Holzwand zu führen (Abbildung 20, oben rechts). In diesem Fall wird der Dachüberstand durch das Überdach gebildet.
Eine noch weiter gehende Wärmebrückenreduktion wäre möglich, indem die Strohdämmung der Außenwand bis zur Oberkante des Unterdachs geführt wird (Abbildung 20, unten).

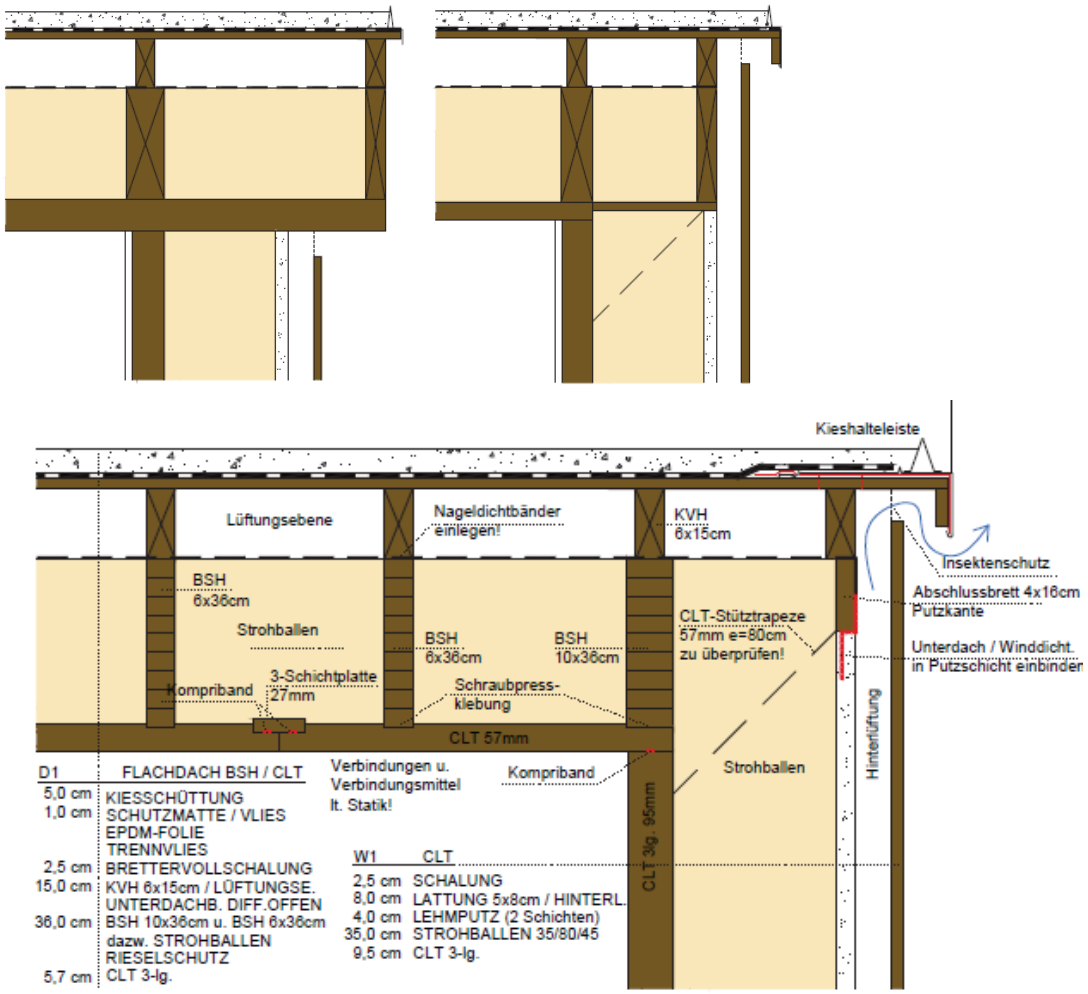


Abbildung 20: Entwicklung des Ortgangdetails – Anschluss Dachelement zu Wandelement

3.1.5 Geschoßdecken

Für mehrgeschoßige Wohnbauten ist zusätzlich eine Lösung für Geschoßdecken einzuplanen. Eine Verbundlösung aus Holz- und Betonelementen stellt die folgende Konstruktionsvariante dar:

Abbildung 21: Innovative „verlorene Schalung“ aus kreuzweise verleimten Holzleisten

Mit einer Hybridkonstruktion aus Holzskelett und Kammerfüllung mit faserarmiertem Beton sowie in der untersten Ebene eingebrachten Stahlseilen (zur Aufnahme der Biegekräfte) können mehrere Vorteile gleichzeitig genutzt werden:

- Erfüllung der Schallschutzanforderungen
- Geringes Transportgewicht (bei Verwendung von Ortbeton)
- Große Spannweiten erreichbar (10 m bei 20 m Segmenthöhe)
- Einfacher Einbau auf der Baustelle (Verlegen der Elemente und Verfüllen der Kammern)
- Geringer Materialmix (Unterdeckenansicht muss nicht bearbeitet werden)
- Extrem gute Passgenauigkeit der Elemente durch präzise Vorfabrikation

3.1.6 Rückbau der einzelnen Elemente

Die Wand-, Boden- und Dachelemente werden an der Baustelle nicht mehr zusätzlich verklebt, sondern nur mechanisch verbunden und können daher einfach rückgebaut werden. Durch die modulare Fertigung können die Elemente für andere Bauvorhaben (z. B. mit größeren oder kleineren Grundrissen) wiederverwendet werden.

3.2 Gesamtkonzept für die rationelle Herstellung

Mit einem Gesamtkonzept für rationelle Gebäudeherstellung sollen Fertigungsschritte auf der Baustelle vereinfacht werden. Neben der Montage der einzelnen vorgefertigten Bauteile ist auch die Leitungsführung bereits im Voraus genau zu planen, sodass die Anschlüsse an der Baustelle einfach und sicher fertiggestellt werden können. Gleichzeitig ist es in Hinblick auf kunden- und bedarfsorientiertes Bauen sinnvoll, Flexibilität zu ermöglichen, also z. B. eine Bauweise zu wählen, die den Umbau des Gebäudes ermöglicht, falls im Laufe der Nutzung neue Grundrisse oder Raumanordnungen erforderlich werden.

Bei der Herstellung von strohballengedämmten Elementen, wie sie für das Zero Carbon Village geplant sind, ist in Bezug auf den Fertigungsablauf vor allem die Frage relevant, ob die Strohballen werkseitig oder an der Baustelle eingebracht werden. Diese beiden Varianten werden im Folgenden anhand von zwei Gebäuden des Projektpartners *Atelier Werner Schmidt* analysiert und verglichen. Da diese beiden Gebäude bereits umgesetzt wurden, konnten Erkenntnisse für den Fertigungsablauf gewonnen werden, die allein mit der Herstellung von einzelnen Bauteilen nicht möglich wären. Die Ergebnisse der Analyse führten zur Weiterentwicklung des Fertigungskonzepts für das Zero Carbon Village.

3.2.1 Vorfertigung mit werkseitiger Dämmung

Für die Errichtung des zweigeschoßigen Gebäudes wurden vorgefertigte Wandelemente (Holz-Strohkonstruktionen) verwendet. Die vollständige Herstellung der Elemente inklusive Einbringung der Dämmschicht aus Strohballen erfolgte in einem Werk in Dornbirn (Vbg.).

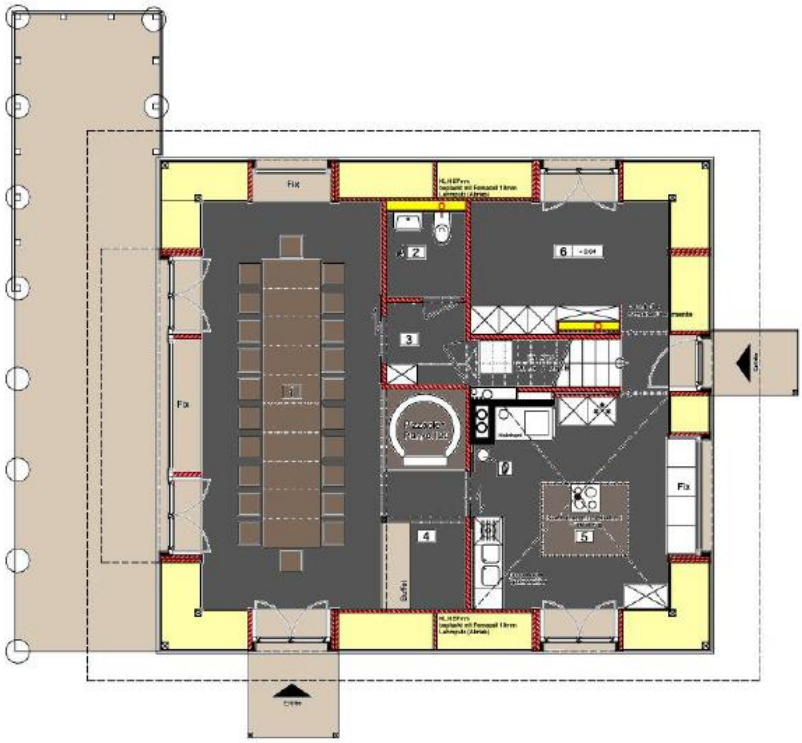


Abbildung 22: Grundriss mit werkseitig gedämmten Elementen (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

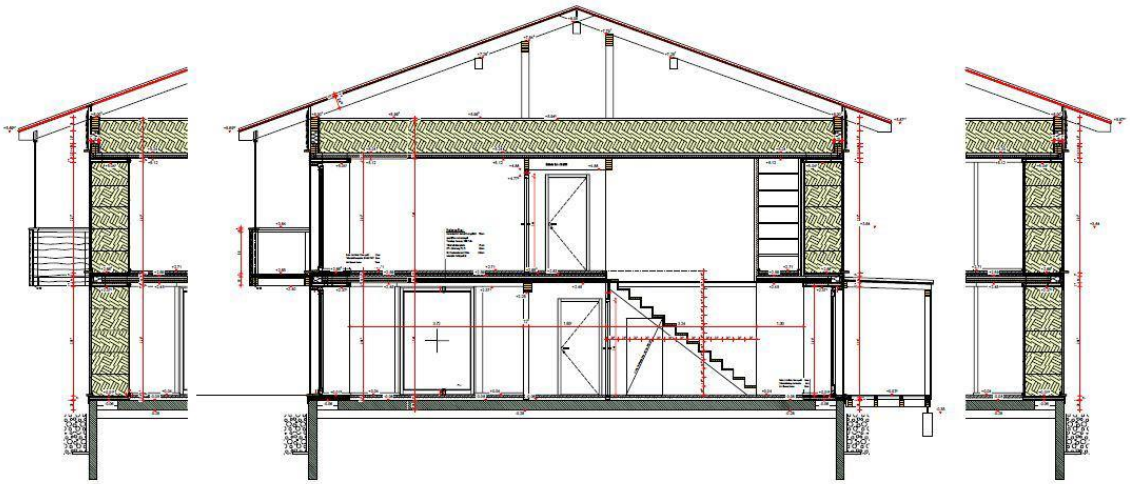


Abbildung 23: Schnitt mit werkseitig gedämmten Elementen (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

Die Wandelemente bestehen aus 80 cm breiten Strohballen als Dämmmaterial mit einem 3 cm starken Lehmputz auf der Innenseite und einem 2 cm starkem Kalkputz auf der Außenseite. Ein Kalkabrieb von ca. 0,5 cm ist einzuplanen. Alternativ wurde im Innenbereich eine 7,8 cm starke KLH-Platte bzw. im Außenbereich bei Anschlussstellen eine 3 cm starke Massivholzblende verwendet.

Auch für die Oberste Geschoßdecke wurden 80 cm breite Strohballen als Dämmmaterial verwendet, aufliegend auf einer 14 cm starken KLH-Platte. Den Abschluss bildet eine Kiesschüttung von 5 cm.

Die Dachkonstruktion selbst besteht aus Holzständern mit einer 2 cm starken Beplankung sowie einer 3 cm starken Stülpschalung aus sägerauhen Fichtenbrettern.

Einzig für die Bodenplatte wurde ein konventioneller Aufbau mit 18 cm XPS, 20 cm Beton sowie einem 12 cm starken Unterlagsboden mit Bitumenbahn gewählt, aufliegend auf Streifenfundamenten.

Herstellung der vorgefertigten Wandelemente

Sämtliche Wandelemente für dieses Gebäude wurden anschlussfertig in einer Halle produziert, um die eigentliche Errichtungszeit des Gebäudes auf der Baustelle auf ein Minimum zu reduzieren. Im Hinblick auf einen möglichen Rückbau erfolgte die Herstellung der Holzrahmen ausschließlich mittels mechanischer Befestigung. Die Auswahl der verwendeten Strohballen erfolgte bereits im Vorfeld der Produktion, und die benötigten Abmessungen der Ballen wurden durch die Holzrahmen bestimmt. Eine nachträgliche Bearbeitung einzelner Strohballen für den Einbau in die Holzrahmen im Besonderen für Eckelemente erwies sich dennoch als teilweise notwendig.

Abbildung 24: links: Herstellung der Holzelemente/-rahmen; rechts: werkseitiger Einbau der Strohballen

Anschließend erfolgte das Ausstopfen der Wandelemente, um Hohlräume zu vermeiden; die abstehenden Strohhalme wurden bündig mit dem Holzrahmen abgeschnitten. In weiterer Folge wurde für einen besseren Putzauftrag am Holzrahmen ein Drahtgitter befestigt und über die frei liegenden Strohbereiche gespannt. Im abschließenden Arbeitsschritt der Vorfertigung erfolgte das Auftragen des Lehm- bzw. Kalkputzes.

Transport, Aufstellung und Anschluss der vorgefertigten Elemente

Der Transport der vorgefertigten Wandelemente erfolgte witterungsgeschützt in einem LKW unter einer Plane. Nach der Anlieferung auf der Baustelle wurden die Elemente mit einem Kran aus dem Transporter herausgehoben und direkt an der vorgesehenen Stelle aufgestellt.

Abbildung 25: Anlieferung der vorgefertigten Wandelemente an der Baustelle

Der Anschluss der Elemente erfolgte mittels mechanischer Befestigung/Verdübelung zum einen an der Bodenplatte sowie an den angrenzenden Elementen. Für einen luftdichten Aufbau wurden die Wandelemente untereinander mit einem 3-Punkt-Band bzw. einem Kompriband verbunden und zusätzlich mit einer Schicht Bauschaum verklebt.

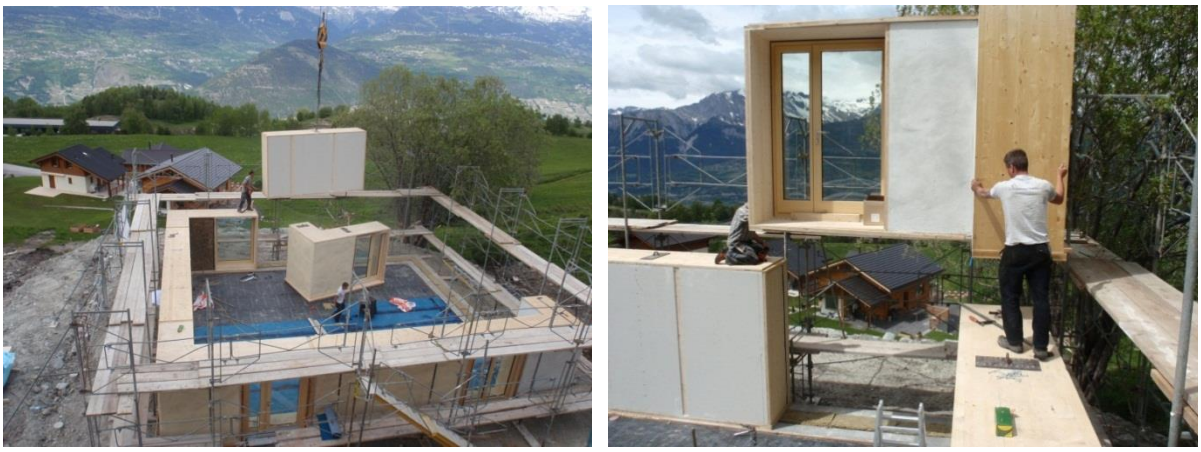


Abbildung 26: Aufstellen der vorgefertigten Wandelemente

Nach dem Aufstellen der Wandelemente wurde die Dachkonstruktion errichtet. Diese besteht ebenfalls aus vorgefertigten Elementen, die in kurzer Montagezeit aufgesetzt werden konnten.

Fertigstellung des Gebäudes

Nach der Errichtung der Gebäudehülle erfolgt der Innenausbau auf der Baustelle durch die einzelnen Gewerke, wie z. B. die Montage von Zwischenwänden, des Stiegenhauses etc., sowie die Installation der Haustechnik ausgehend von einer zentralen Anschlussstelle für die Versorgungsleitungen.

Abbildung 27: Fertiges Gebäude aus werkseitig gedämmten Elementen (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch)

Rückbau und ökologische Aspekte

Das Rückbauszenario des gesamten Hauses entspricht dem Aufbauszenario in umgekehrter Reihenfolge (siehe Abbildung 28). Ein Rückbau der Gebäudehülle ist im Allgemeinen möglich, obwohl bei der Trennung der Elemente aufgrund punktueller Verklebungen ein erhöhter Aufwand einzuplanen ist. Die anschließende Demontage der einzelnen Wandelemente ist hingegen unproblematisch.

Aus ökologischer Sicht hätte alternativ zur konventionellen Variante der Bodenplatte auch ein Aufbau mit Punktfundamenten und Glasschaumschotter als Isolationsmaterial gewählt werden können.

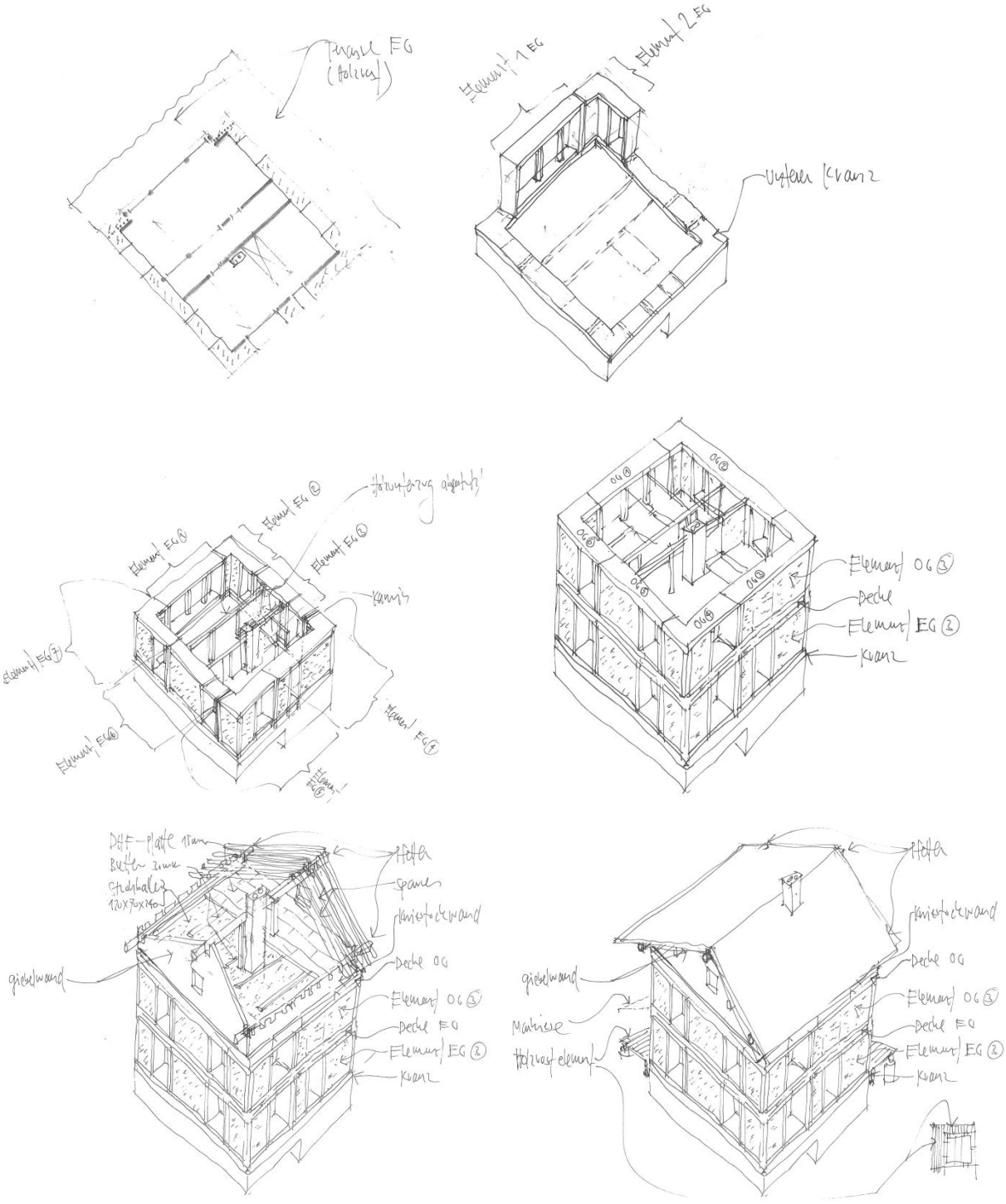


Abbildung 28: Aufbauszenario des Gebäudes mit werkseitig gedämmten Elementen (zugleich, in umgekehrter Reihenfolge, Rückbauszenario) (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

3.2.2 Vorfertigung von Zimmerelementen mit nachträglicher Strohummantelung

Ein weiteres zweigeschoßiges Gebäude wurde aus Zimmerelementen hergestellt, die nachträglich, also an der Baustelle, mit Großstrohballen ummantelt wurden.

Für eine Minimierung der Errichtungszeit auf der Baustelle wurden in einem Werk in Dornbirn (Vbg.) die Zimmer als sogenannte Modulcontainer mit vollständig integrierter Haustechnik vorgefertigt. Die Errichtung der Gebäudehülle mit Strohballendämmung und abschließendem Kalkputz erfolgte auf der Baustelle.

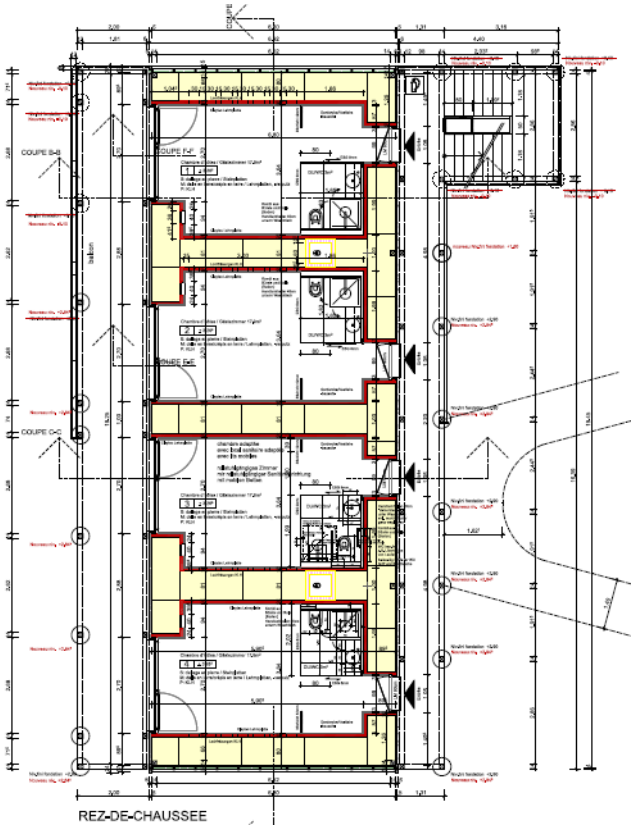


Abbildung 29: Grundriss mit Modulcontainern und nachträglicher Strohballendämmung (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

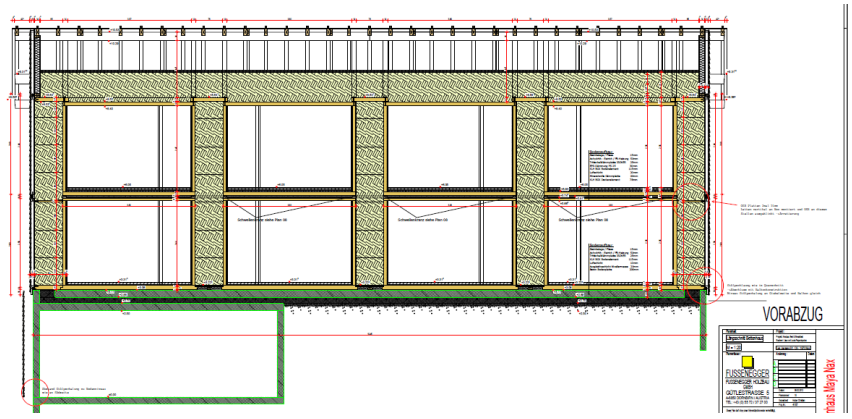


Abbildung 30: Längsschnitt mit Modulcontainern und nachträglicher Strohballendämmung (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

Herstellung der Modulcontainer

Die Herstellung der vorgefertigten Modulcontainer erfolgte in einer Werkshalle durch eine Zusammenarbeit von Professionisten der verschiedenen Gewerke. Auf diese Weise konnten die einzelnen Container parallel gefertigt und die Bauzeit reduziert werden.

Abbildung 31: Herstellung der Modulcontainer

Der Wandaufbau der Container besteht aus einer 9,4 cm starken KLH-Platte und 2,5 cm dicken Lehmbauplatten mit Schilfrohren und abschließendem Lehmfeinputz.
Der Bodenaufbau für die Contaner im EG besteht aus einer 11,5 cm starken KLH-Platte, einer 2,5 cm starken ISOVER Trittschalldämmplatte, einer 5 cm Anhydrith-Estrich-Schicht mit integrierter Fußbodenheizung und einem abschließenden 1,5 cm starken Stein- bzw. Fliesenbelag in den Nasszellen.
Die Unterkonstruktion besteht aus einer 20 cm Betonplatte mit einer 2 cm starken Ausgleichsschicht mit Nivelliermasse und einer angrenzenden Luftschicht von 1 cm.
Beim Bodenaufbau der Modulcontainer im OG ist zwischen der KLH-Platte und der Trittschalldämmplatte eine zusätzliche 3 cm starke Schicht EPS montiert.
Der Deckenaufbau besteht aus einer 7,8 cm KLH-Platte, einer 2 cm starken Mineralwolledämmplatte und einer angrenzenden 2 cm Luftschicht zum nächsten Container.
Die Decke der Container im OG besteht ausschließlich aus einer 11,5 cm KLH-Platte.
Die Herstellung der Modulcontainer in der Halle beinhaltet eine vollständige Installation der Haustechnik inklusive Nasszellen und Fußbodenheizung etc.

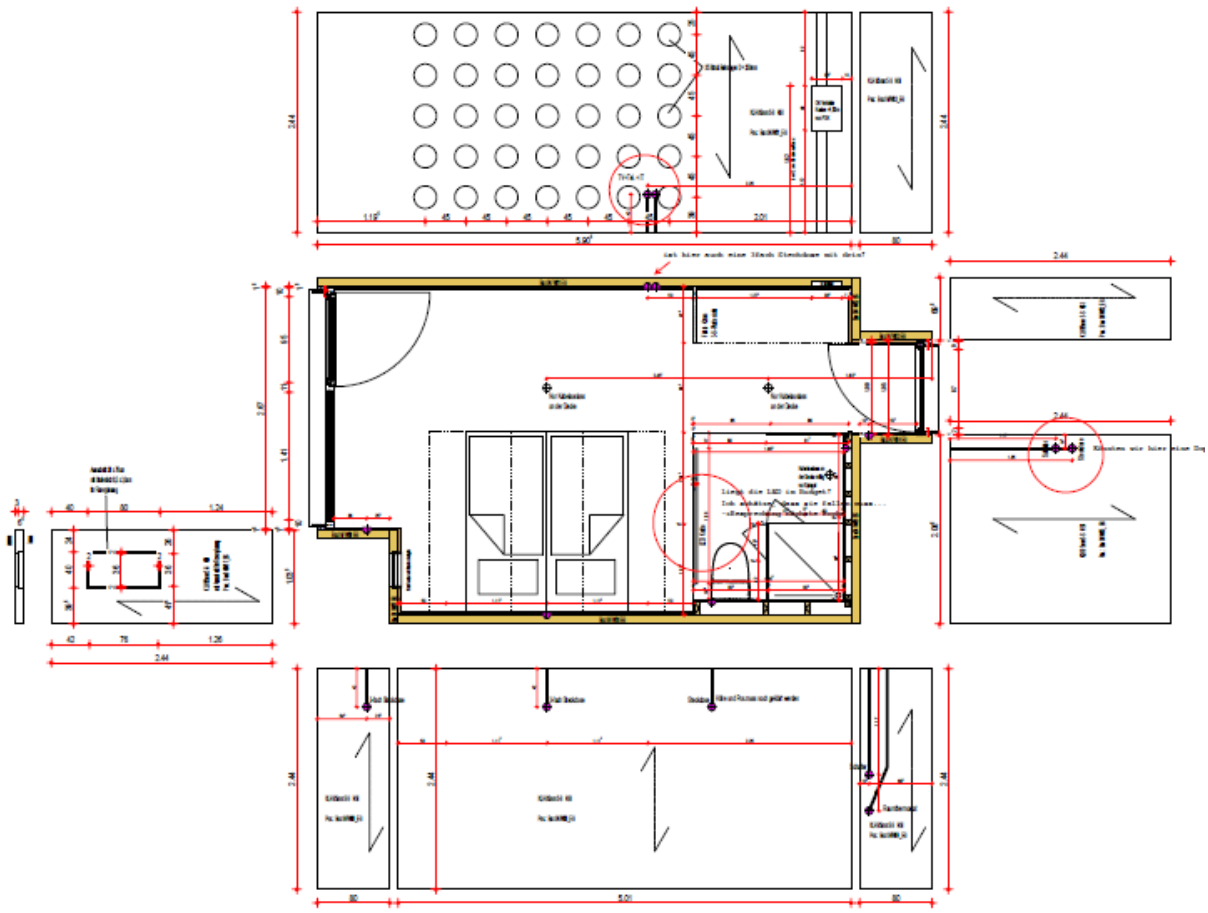


Abbildung 32: Leitungsführungsplan der Modulcontainer (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

Die Leitungsführung ist in allen Containern gleich. Elektroleitungen sind teilweise in Einfräsungen der KLH-Platte verlegt, daher gibt es keine offene Leitungsführung in den Containern. Alle Vertikalstränge sind in einem Leitungsschacht zusammengefasst, die horizontale Verteilung geht über den Boden.
Auf der Baustelle ist ausschließlich der Anschluss der Versorgungsleitungen erforderlich.

Abbildung 33: Links: Versorgungsleitungen der Modulcontainer; rechts: Innenraum

Transport, Aufstellung und Anschluss der Modulcontainer

Der Transport der Modulcontainer zur Baustelle erfolgte mit einem entsprechenden LKW witterungsgeschützt unter einer Plane. Aufgrund der Größe der Modulcontainer war eine

Polizeibegleitung notwendig. Mit einem Kran wurden die Container vom Transporter gehoben und an der vorgesehenen Stelle auf der Bodenplatte bzw. auf den bereits angeschlossenen Containern im Erdgeschoß aufgestellt.

Abbildung 34: Aufstellung der Modulcontainer (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch)

Der Anschluss der Versorgungsleitungen, welcher durch die einheitliche Leitungsführung erleichtert wird, kann direkt nach dem Aufstellen der Container erfolgen. Es gibt zwei Leitungsschächte im Gebäude, sodass jeweils vier Modulcontainer über einen Schacht versorgt werden können. Die Schächte werden nach dem Anschluss der Leitungen mit Zellulose ausgeblasen.

Fertigstellung des Gebäudes

Im nächsten Arbeitsschritt erfolgt abhängig von der Witterung das Schlichten der Strohballen. Da es sich dabei um Großstrohballen mit einem Gewicht von bis zu 500 kg pro Stück handelt, werden diese mithilfe des Krans in Position gebracht. Die vorgefertigten Modulcontainer werden quasi von einer Dämmschicht aus Strohballen „ummantelt“. Parallel dazu und zu den weiteren Arbeiten an der Gebäudehülle können die Endarbeiten im Innenbereich ausgeführt werden.

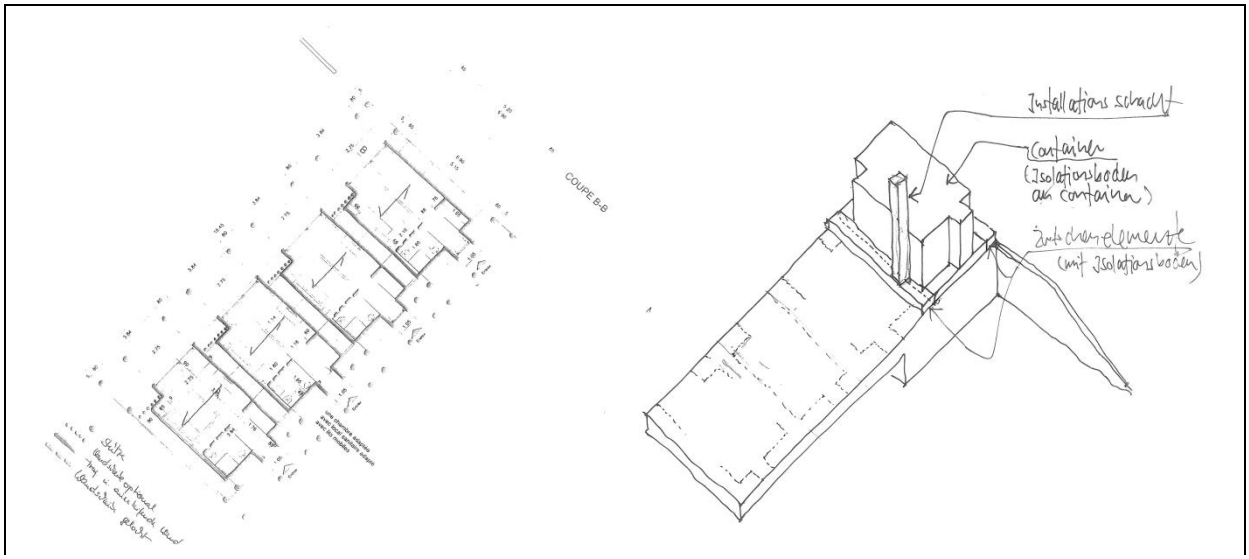
Abbildung 35: Errichtung der Dämmschicht an der Baustelle (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch)

Nach dem Übereinanderschlichten der Strohballen wurde die Dachkonstruktion errichtet. Diese besteht wie beim Haupthaus ebenfalls aus vorgefertigten Elementen, die innerhalb einer kurzen Montagezeit aufgesetzt werden konnten.
Anschließend erfolgte der Auftrag des Kalkputzes bzw. der Montage der Holzfassade.

Abbildung 36: Links: Montage der Fassade : rechts: fertiges Gebäude (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch)

Rückbau und ökologische Aspekte

Das Rückbauszenario des gesamten Gebäudes entspricht wiederum dem Aufbauszenario in umgekehrter Reihenfolge (siehe Abbildung 37).
Grundsätzlich ist der Rückbau für die gesamte Gebäudehülle möglich, da sämtliche Holzelemente nur durch mechanische Befestigungen verbunden sind. Die Möglichkeit der Demontage einzelner Modulcontainer besteht, ist jedoch schwierig und erfordert einen relativ hohen Aufwand, da diese z. B. über einen Estrichboden mit eingelassener Fußbodenheizung verfügen.



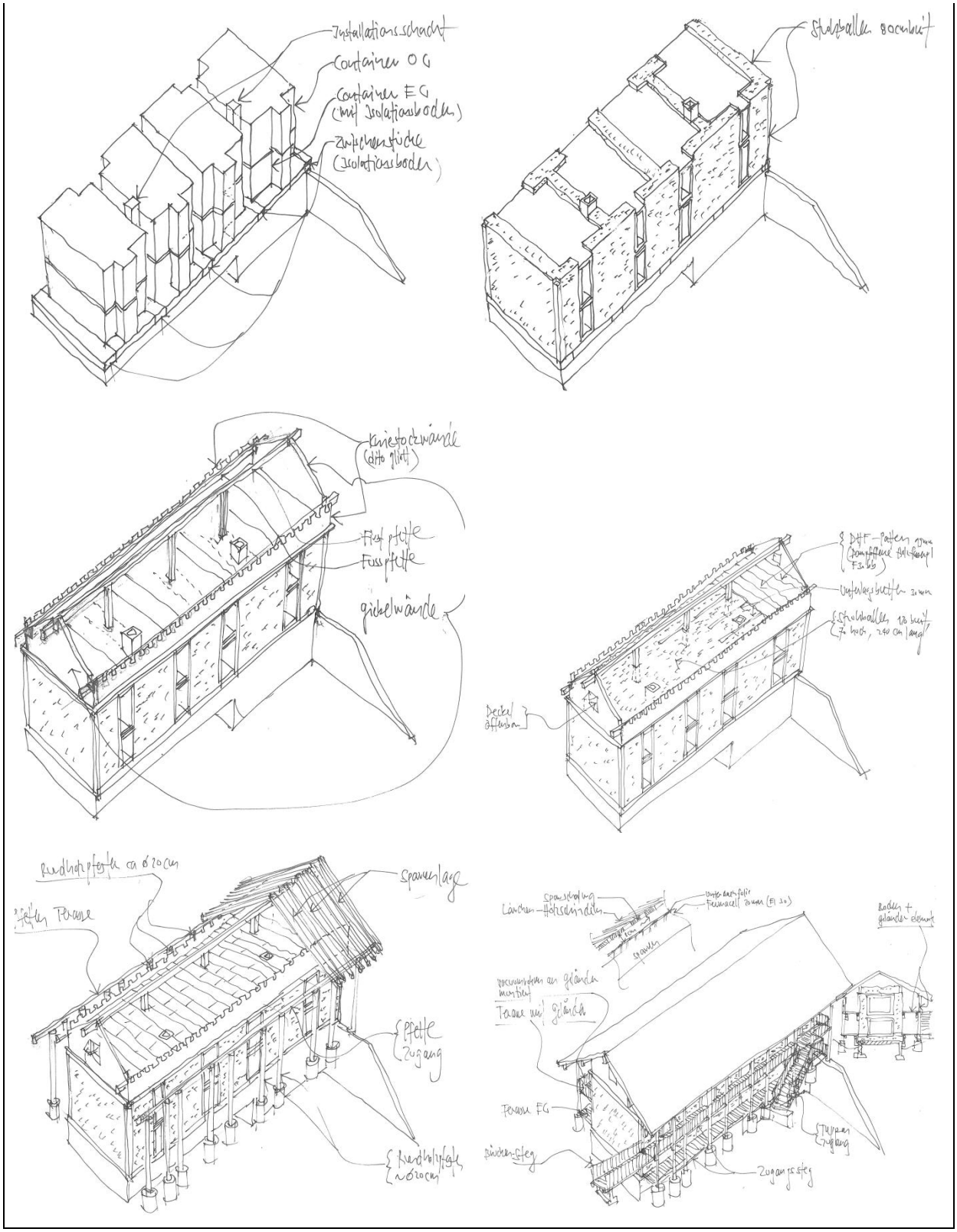


Abbildung 37: Aufbauszenario für ein Gebäude mit Modulcontainern und nachträglicher Strohummantelung (zugleich, in umgekehrter Reihenfolge, Rückbauszenario) (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

3.2.3 Vergleich und Schlussfolgerungen für die ZCV-Fertigung

Beide Gebäude – mit werkseitiger Strohballendämmung und mit nachträglicher Strohummantelung – wurden anhand der eingangs aufgestellten *technischen Kriterien* für das Zero Carbon Village miteinander verglichen: Passivhausstandard, hoher Vorfertigungsgrad und Rückbaubarkeit. Aufgrund des Vergleichs können Schlussfolgerungen für die Fertigung des

Zero Carbon Village getroffen werden. (Ein Vergleich des Fertigungsablaufs in Bezug auf *ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeitskriterien* wird außerdem in Kapitel 4.2 beschrieben.)

Beide Gebäude weisen aufgrund der hohen Dämmstärke und der luftdichten Fertigung einen hohen **thermisch-energetischen Standard** auf. Dieser Vorteil wird auch im Zero Carbon Village durch Strohballen als Dämmstoff und eine sorgfältige Planung der Details und Anschlüsse genutzt. Die Art der Fertigung hat auf dieses Kriterium keinen wesentlichen Einfluss, da das Ergebnis in beiden Fällen eine gut dämmende Gebäudehülle ist.

Der **Vorfertigungsgrad** ist allerdings unterschiedlich: Bei der werkseitigen Dämmung müssen die Strohballen nicht mehr an der Baustelle eingebracht werden, was den Arbeitsaufwand dort gering hält und eine witterungsunabhängige Fertigung ohne Kran ermöglicht. Allerdings wurde im analysierten Gebäude die Haustechnik nicht vorgefertigt, sondern erst an der Baustelle installiert. Dieser Aspekt wird im Zero Carbon Village mit einem vorgefertigten Haustechnikmodul („Funktionsmodul“) verbessert.

Die Herstellung von Zimmerelementen (Modulcontainern) mit nachträglicher Strohummantelung weist einen hohen Vorfertigungsgrad in Bezug auf die Module auf, allerdings ist der Arbeitsaufwand für die Strohummantelung an der Baustelle in Betracht zu ziehen. Die einheitliche Leitungsführung in den vorgefertigten Modulen ist ein Vorteil, da die Anschlüsse an der Baustelle vereinfacht werden. Ein Nachteil ist, dass die Modulcontainer als Ganzes vorgefertigt werden und damit keine flexiblen, modularen Bauweisen, sondern nur standardisierte Grundrisse möglich sind, was für den Wohnbau unter Umständen unerwünscht ist. Im Zero Carbon Village sind hingegen die einzelnen Bauteile durch lösbare Verbindungen vielfältiger kombinierbar.

Die **Rückbaubarkeit** wird bei der Vorfertigung ganzer Modulcontainer erschwert, da diese nur schwierig in ihre Einzelelemente zerlegbar sind. Mit werkseitig gedämmten Elementen kann der Rückbau ermöglicht werden, vor allem wenn nur mechanische Verbindungen und keine Verklebungen verwendet werden. Dieses Prinzip wird bei der Fertigung und Montage der Bauteile des Zero Carbon Village umgesetzt.

3.3 Architektonisches Konzept

Die grundsätzliche Entscheidung zur modularen Bauweise in Verbindung mit einem möglichst hohen Vorfertigungsgrad ermöglicht einen großen Variantenreichtum für die architektonische Ausbildung der einzelnen Gebäudetypen.

Als geeignete Lösung, um dem Prinzip der modularen Bauweise Rechnung zu tragen und den Entwurf somit möglichst kosteneffizient sowie auf optimale Rückbaubarkeit achtend zu gestalten, erweist sich ein möglichst einfaches Gestaltungskonzept, welches die räumliche Ausprägung der Module als wesentliches Element übernimmt und nur unwesentlich bzw. nur wo funktional notwendig erweitert.

Diese konzeptionellen Grundgedanken wurden von Projektpartner *Ökohaus Systembau* bereits als Prototyp umgesetzt.

Abbildung 38: Entwurf „Haus Chrissy“ – Holzcontainerbasierendes Passivhaus

Als wesentliches Gestaltungsprinzip wurden die einzelnen Funktionsmodule (Containerelemente) auch optisch voneinander getrennt. Durch die gewollte Kontrastwirkung von heller Putzoberfläche und längs angeordneten Lärchenholzlamellen wird ein ansprechendes Zusammenspiel der Raummodule erzeugt.

Im Nachfolgenden werden Lösungen für die Gebäudekategorien Einfamilienhaus, Reihenhaus und Mehrgeschoßwohnbau aufgezeigt. Je nachdem, welche Fertigungsvariante gewählt wird (Modulcontainer, gedämmte Wandelemente,…), ergeben sich unterschiedliche Grundrissvarianten und Möglichkeiten für den Innenausbau. Für die Umsetzung des Zero Carbon Villages sollen die jeweiligen Vorteile der Varianten entsprechend der finalen architektonischen Planung kombiniert werden.

3.3.1 Einfamilienhaus

Eine Möglichkeit ist die Variante von Projektpartner *Atelier Werner Schmidt* nach dem bereits dargestellten Fertigungsprinzip eines Gebäudes mit Modulcontainern. Die Verwendung der Modulcontainer muss nicht ausschließlich in eingeschoßigen Wohnbauten verwendet werden, sondern kann auch unproblematisch in mehrgeschoßigen Wohnbauten zum Einsatz kommen. Im Nachfolgenden ist eine Möglichkeit für ein Einfamilienhaus dargestellt.

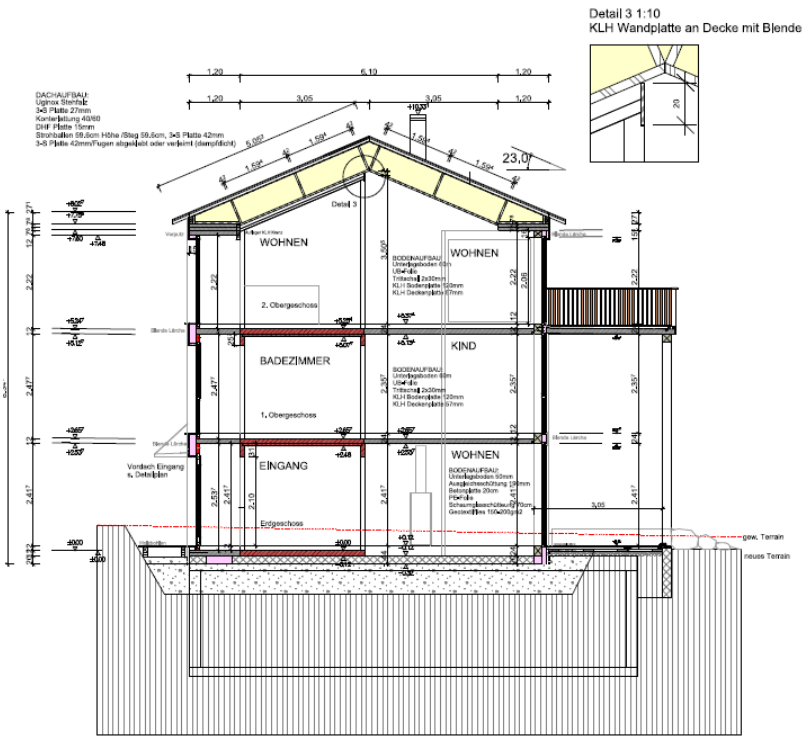


Abbildung 39: Schnitt Einfamilienhaus. Der rot schraffierte Bereich zeigt die Position der vorgefertigten Modulcontainer (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

In jedem Geschoß gibt es durch den vorgefertigten Container einen definierten Bereich, der sämtliche Nassräume, Installationskanäle, Technikraum sowie das gesamte Treppenhaus beinhaltet.

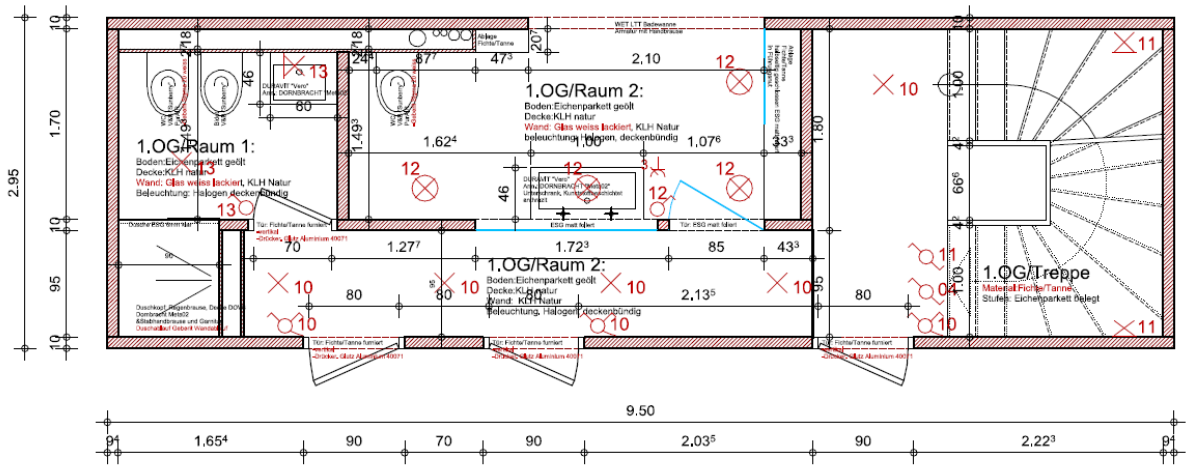


Abbildung 40: Grundriss des Containers im Einfamilienhaus (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

Im Container sind alle Leitungen fertig installiert. Vor Ort auf der Baustelle ist nur noch der Anschluss der Versorgungsleitungen notwendig. In den Containern gibt es keine offene Leitungsführung. Die horizontale Verteilung geht über den Boden. Elektroleitungen sind teilweise in die KLH-Platten eingefräst. Alle Vertikalstränge sind in einem Leitungsschacht zusammengeführt. In einem Gebäude erfolgt deshalb die Aufstellung der Container immer übereinander.

Die Wand-, Decken- und Bodenelemente des Containers sind in der Regel immer mechanisch durch Schrauben miteinander befestigt. Bei sämtlichen Verbindungen im Bereich der Gebäudehülle werden Kompribänder verwendet. Aber auch bei den Verbindungen der Container zu den anliegenden BSH-Trägern wird eine mechanische Befestigung verwendet.
In Hinblick auf Schallschutz werden allen Böden schwimmend verlegt, sodass Lärmemissionen nicht direkt auf den Boden übertragen werden.
Die außenliegende Dämmschicht besteht aus Großstrohballen mit einer abschließenden Kalkputzschicht. Die Kombination mit einer Holzfassade ist unproblematisch. An der Südseite verfügt das Gebäude über eine Glasfront.

Innenarchitektur

Die Innenarchitektur wird zum Teil durch die vorgefertigten Modulcontainer bestimmt. Eine Aufteilung des Bereichs, der an die vorgefertigten Container angrenzt, erfolgt durch vorgefertigte Massivholztrennwände. Dieser Bereich hat keinen definierten Nutzungszweck, daher können die Trennwände je nach Anforderungen der BewohnerInnen platziert werden und unterschiedliche Raumaufteilungen ermöglichen. Beispielsweise kann ein Kinderzimmer geteilt werden, sobald ein weiteres Kind einen Raum benötigt, oder das Zimmer kann in einer späteren Lebensphase mit den Nebenräumen zusammengelegt werden, sobald keine separaten Räume mehr notwendig sind.

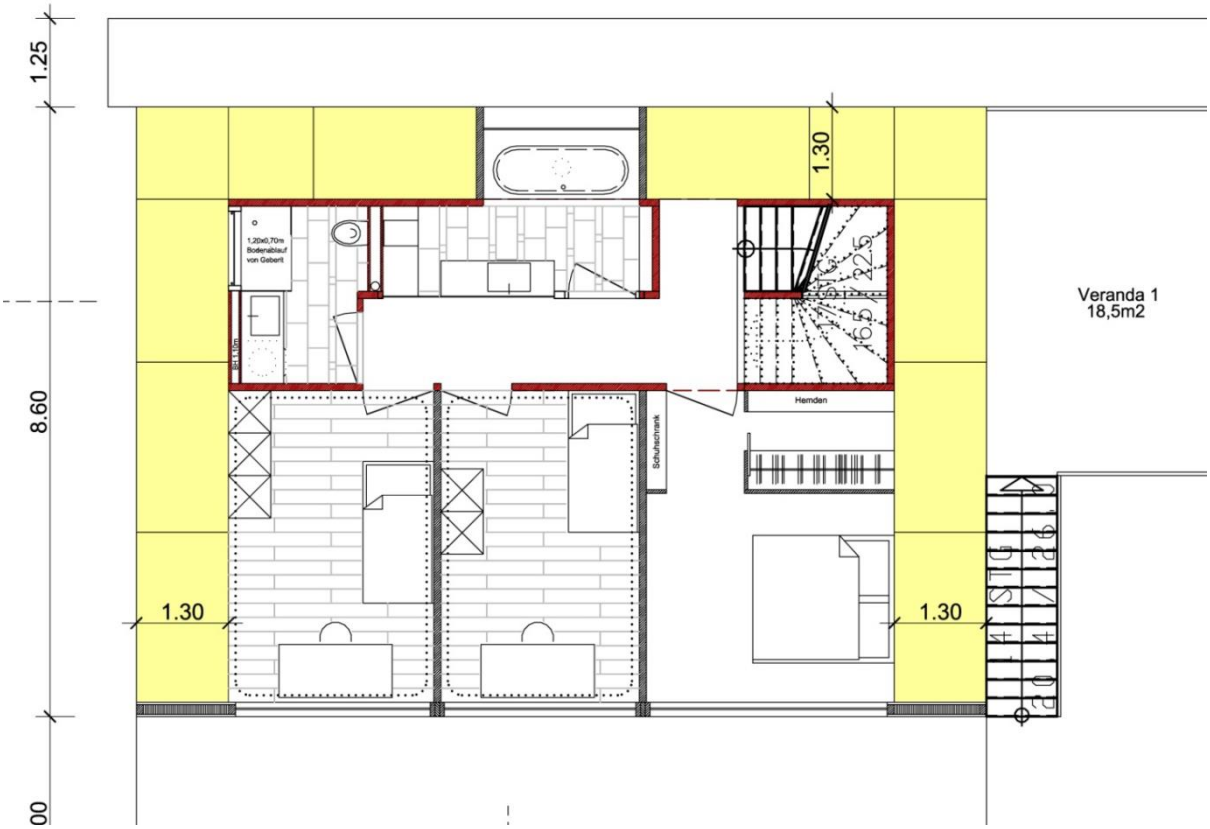


Abbildung 41: 50er-Planung Grundriss OG. Der rot umrandete Bereich ist der vorgefertigte Container (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

Die folgende Abbildung zeigt die Anschlüsse der Trennwände zur Decke bzw. zum Boden. Zum Boden hin wird Kantholz mit Kompribändern eingesetzt; am Übergang zur Decke wird eine Blende verwendet.

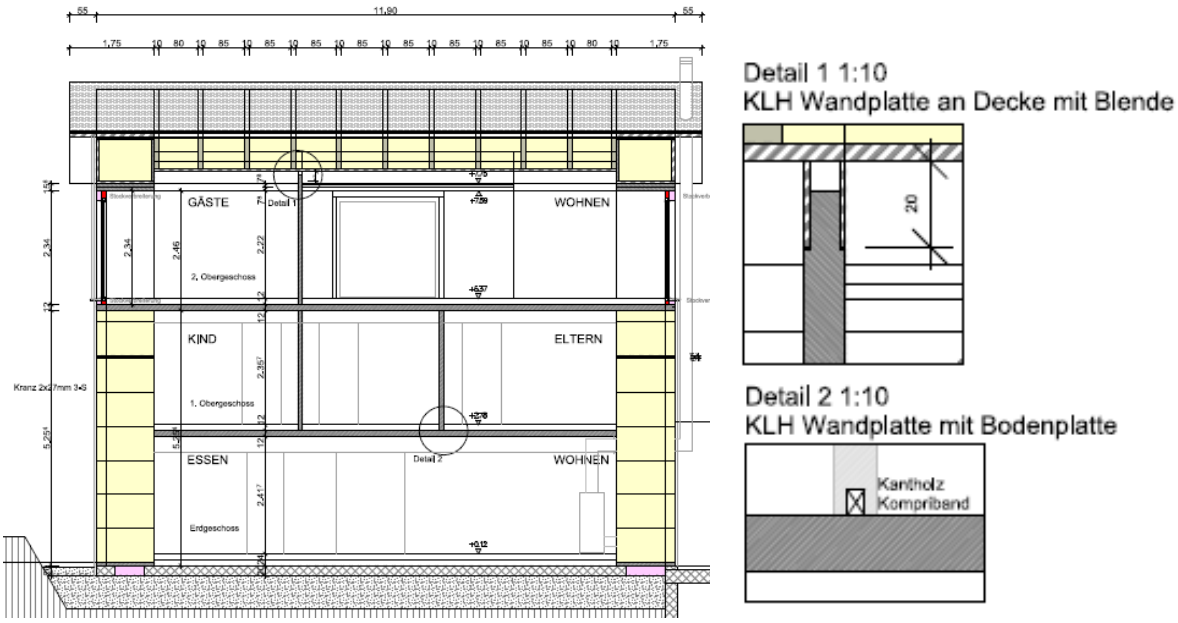


Abbildung 42: Links: Längsschnitt Einfamilienhaus; rechts: Details der Anschlüsse von Trennwänden zu Boden/Decke (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

3.3.2 Reihenhaus

In Anlehnung an die entwickelten innovativen Konstruktionen, die beim S-HOUSE zum Einsatz kamen, wurden Konzepte für ein Reihenhaus in Kombination mit vorgefertigten Modulcontainern erstellt.

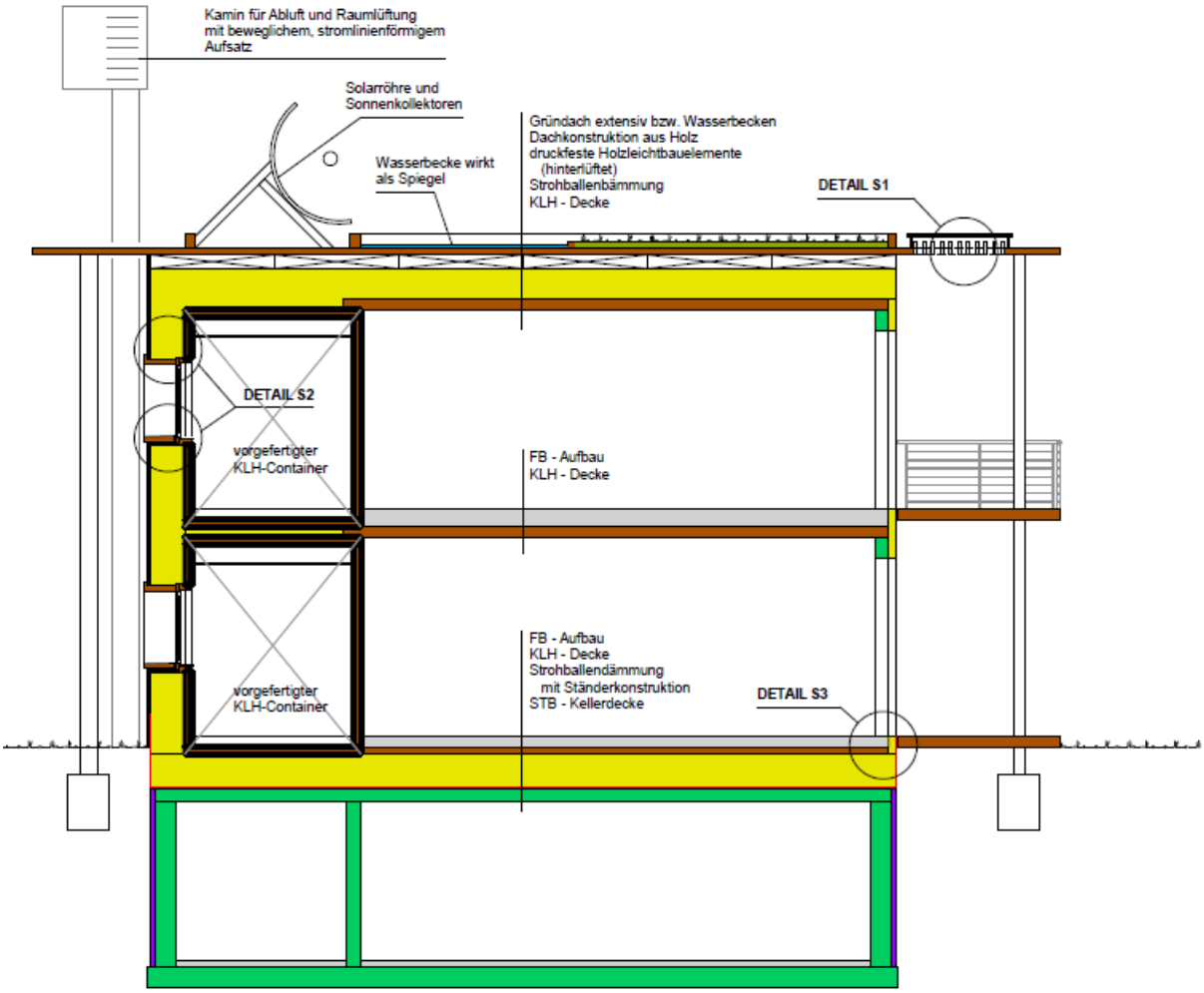


Abbildung 43: Schnitt Reihenhaus (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Für die Gebäudehülle ist eine Konstruktion mit KLH-Platten und Strohballen vorgesehen. Diese lassen sich hervorragend mit einer nach außen abschließenden Putzschicht oder einer Holzfassade kombinieren. Wie beim S-HOUSE ist ein begrüntes Dach vorgesehen. Nach Möglichkeit sollen bei dieser Bauweise aus ökologischer Sicht ebenfalls Punktfundamente verwendet werden, jedoch könnte aufgrund der Anforderungen des Wohnbauträgers eine Gebäudevariante mit Keller realisiert werden.

Die Modulcontainer bestehen aus mechanisch verbundenen Wand-, Decken- und Bodenelementen und enthalten sämtliche Nassräume sowie den Technikraum. Auch die Leitungen werden vollständig im Werk installiert. Im Gegensatz zu den Einfamilienhäusern werden bei dieser Variante die Leitungen nicht im Boden, sondern in einer abgehängten Decke bzw. in einer vorgefertigten Installationsebene für einen vereinfachten Rückbau geführt.

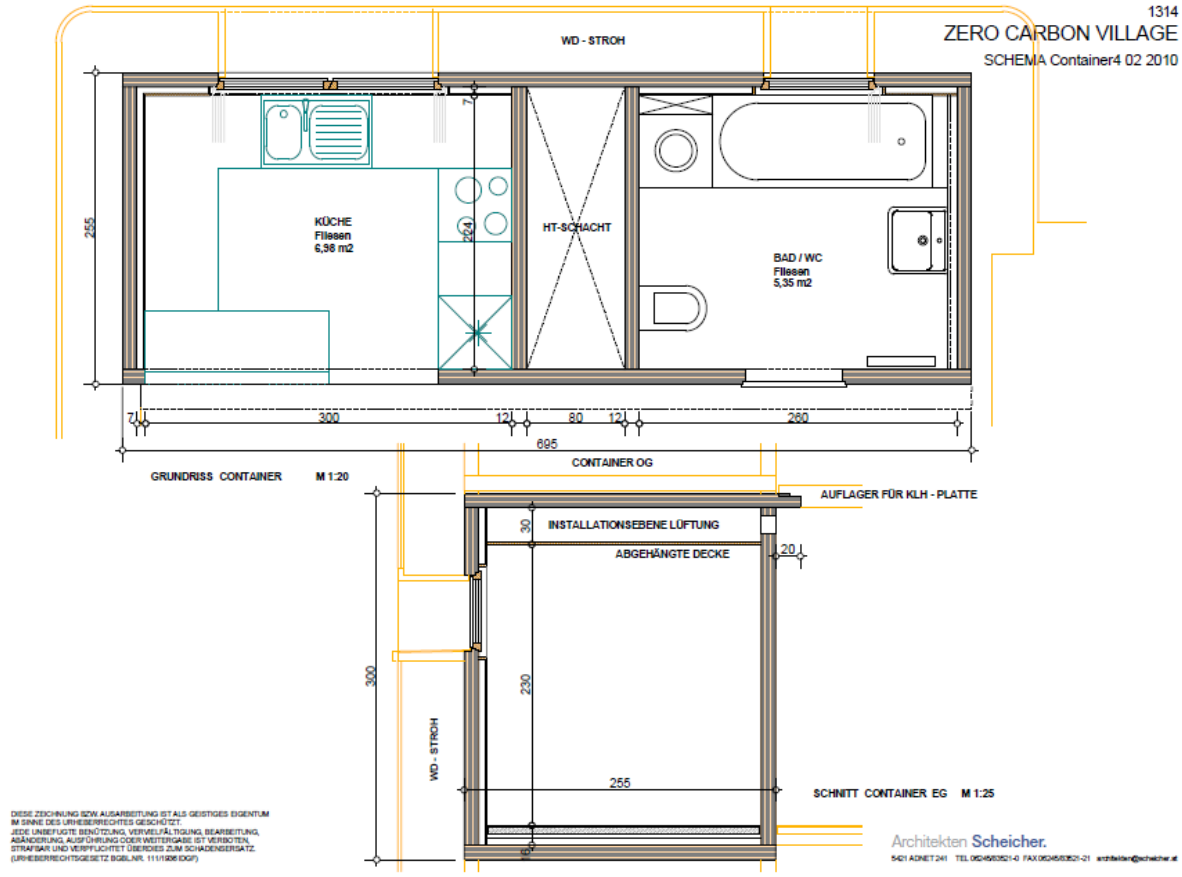


Abbildung 44: Grundriss des Containers im Reihenhaus (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen, wie Reihenhäuser aus den weiterentwickelten S-HOUSE-Konstruktionen in der Variante mit Holzfassade aussehen könnten.
Die Trennung der Reihenhäuser erfolgt bei dieser Variante durch das Stiegenhaus.

Abbildung 45: Visualisierung Reihenhaus (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Abbildung 46: Visualisierung Reihenhaus – Frontansicht (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Innenarchitektur

Die Modulcontainer können mit unterschiedlichen Wohnungseinheiten kombiniert werden. Wie bei der Innenarchitektur des Einfamilienhauses oben dargestellt, können auch hier die Räume, die an die Container angrenzen, mit flexiblen Trennwänden unterteilt und gestaltet werden. Die folgende Abbildung zeigt den Grundriss eines Stockwerks, in dem unterschiedliche Wohnungsgrundrisse realisiert werden – links ohne weitere Unterteilungen (loftartig), in der Mitte mit einem Schlafzimmer und einem Wohn-/Esszimmer, rechts mit einem Schlafzimmer, einem Wohn-/Esszimmer und einem weiteren Zimmer. Entfernt man die Trennwände zu diesem Zimmer, entsteht ein großer quadratischer Wohn-/Essraum.

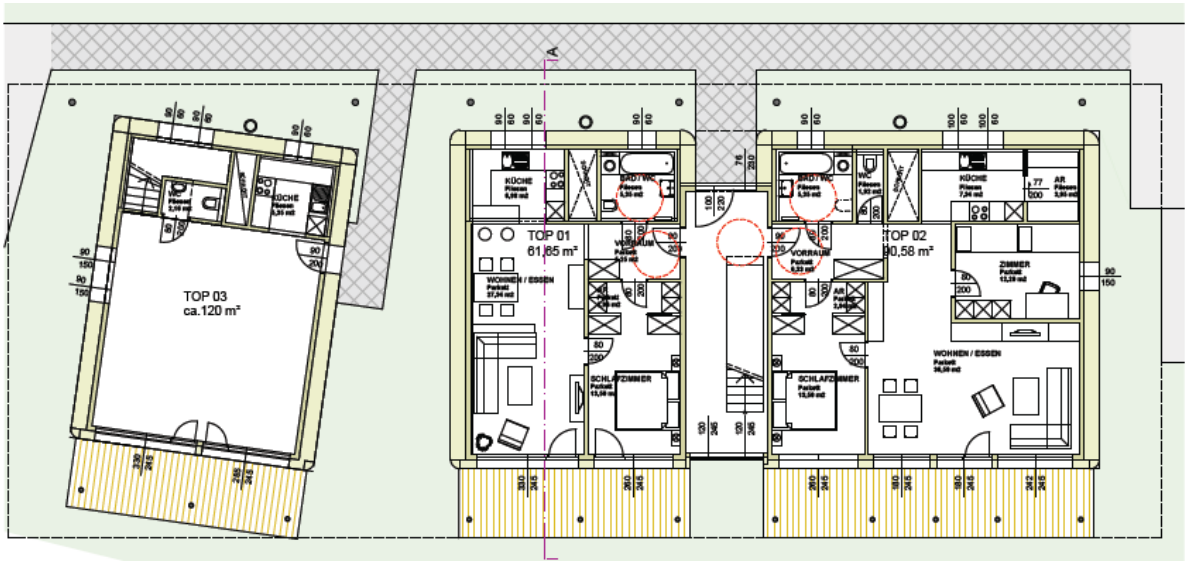


Abbildung 47: Grundriss Reihenhaus mit unterschiedlichen Wohngrundrissen (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

3.3.3 Mehrgeschoßwohnbau mit Betonfertigteilen

Ausgehend von den Planungen der Reihenhäuser wurden unter Einsatz der Modulcontainer Konzepte für Zwei- und Dreizimmerwohnungen mit ressourcenoptimierten Betonfertigteilen für die notwendigen statischen und brandschutztechnischen Bauteile im Hinblick auf den Mehrgeschoßwohnbau entwickelt.

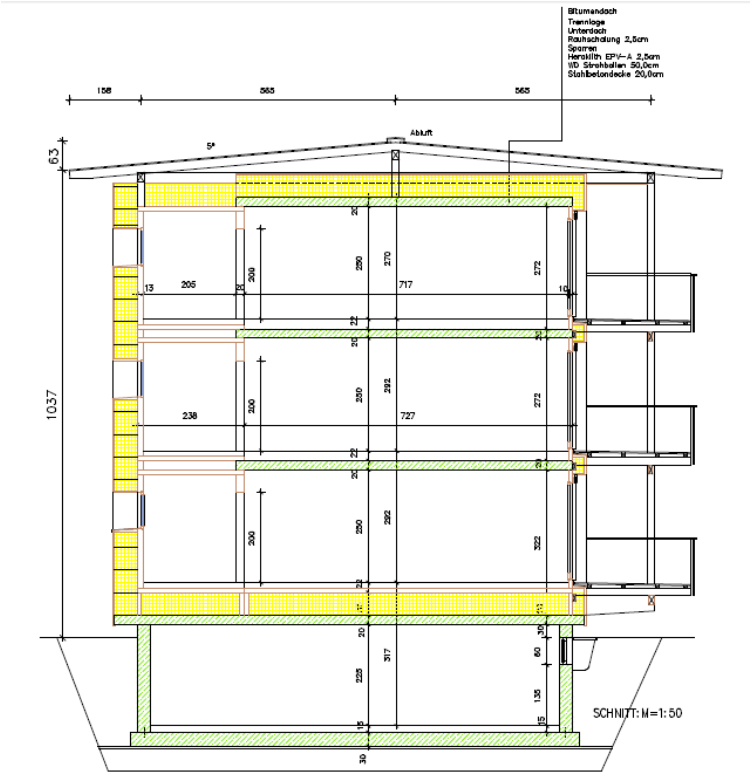


Abbildung 48: Schnitt Mehrgeschoßwohnbau (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Für eine Minimierung der mineralischen Ressourcen ist für die statische Funktion auch eine Variante mit Beton-Skelett-Konstruktion angedacht, die mit einer Gebäudehülle aus nachwachsenden Rohstoffen (Holz/Stroh) kombiniert werden kann.

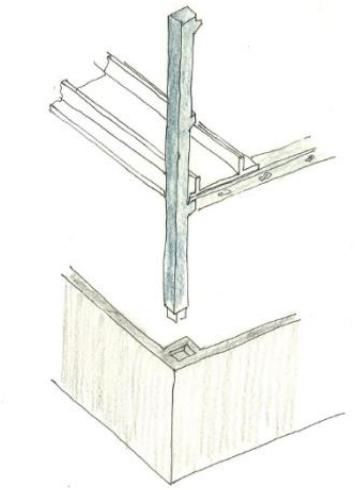


Abbildung 49: Beton-Skelett-Konstruktion (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Bei einer Verwendung von Betonfertigteilen könnten diese zusätzlich auch als Geschoßdecken eingesetzt werden für eine Kombination mit dem Haustechniksystem im Sinne der Betonkernaktivierung (siehe Haustechnikvarianten in Kapitel 3.4).
Das Prinzip der Verwendung von den Modulcontainern entspricht dem der Reihenhäuser. Alternativ können die Modulcontainer auch aus Beton gefertigt werden. Entsprechend dem Ziel eines höchstmöglichen Einsatzes an ressourcenschonenden ökologischen Materialien sollte jedoch nur dann Beton verwendet werden, wenn es z.B. durch die Brandschutzbe-

stimmungen notwendig ist. Aus ökologischer Sicht sollten deshalb nach Möglichkeit auch Punktfundamente verwendet werden.

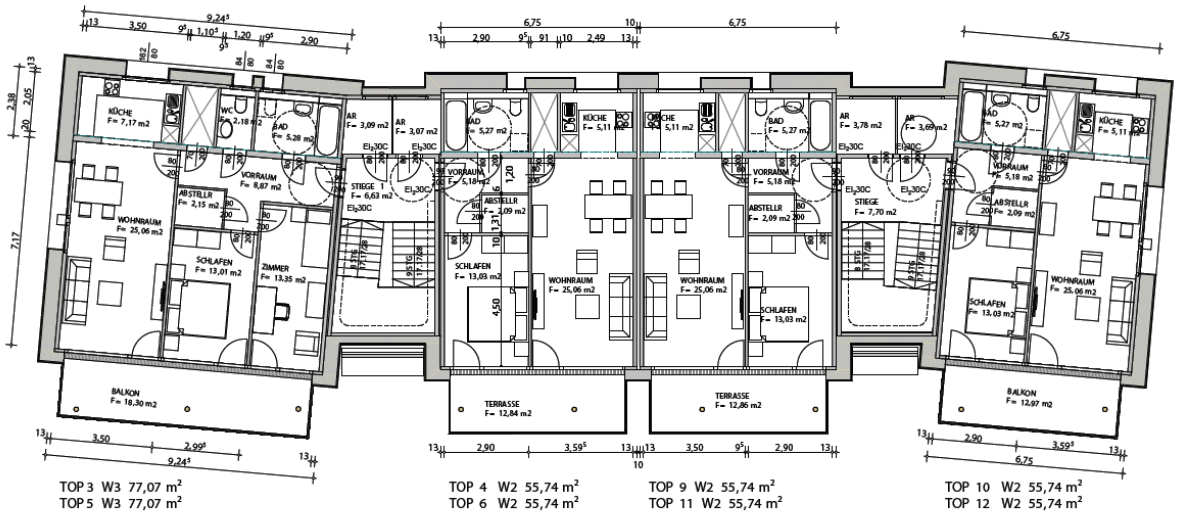


Abbildung 50: Grundriss Mehrgeschoßwohnbau (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen, wie die Gebäude im Mehrgeschoßwohnbau aussehen könnten. Mit diesem Beispiel wird verdeutlicht, dass es auch in dieser Gebäudekategorie möglich ist, einen höchstmöglichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe mit einer modernen Architektur zu kombinieren.

Abbildung 51: Visualisierung Mehrgeschoßwohnbau (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

Abbildung 52: Visualisierung Mehrgeschoßwohnbau – Frontansicht (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH)

3.4 Haustechnik

Die an die Haustechnik gestellten Anforderungen hinsichtlich der Anpassung an die modulare Bauweise sind für die unterschiedlichen Haustechnikkomponenten separat zu betrachten. Im Folgenden wurden für die Eingliederung der Haustechnik zwei Bereiche unterschieden: Die *klassische Passivhaustechnik* wird als Standardausrüstung im Gebäudemodul vorgefertigt integriert. Die *innovative Mitteltemperaturtechnik* (siehe Kapitel 5) kann in einem Andock-Container vorinstalliert werden. Einzelne Komponenten der klassischen Passivhaustechnik sowie der Mitteltemperaturtechnik können aufgrund ihrer Funktionalität nicht vollständig vorinstalliert werden und müssen auf der Baustelle an die Schnittstellen des Gebäudemoduls angeschlossen werden.

Grundsätzliche Ziele zur Optimierung der Haustechnikinstallationen in der Planung sind:

- Lüftung: Raumanordnung/ Grundrisstypologie → kreuzungsfreies Führen der Lüftungskanäle/ Einsparung von Einbauteilen → Platzersparnis, Reduktion umbauter Raum bzw. Herstellkosten. Lüftungsführung in Varianten (Sternverrohrung/ Spaghettisystem, Baumsystem, Führungsebenen)
- Heizung: Passivhaushülle→Heizflächen/ Verteiler zentral anordnen → Minimierung Leitungsführung innerhalb der Wohnung→Kostenersparnis, Verlustminimierung
- Sanitär: Kernzone anordnen → Konzentration der Sanitäranschlüsse → Minimierung Leitungsführung innerhalb der Wohnung→Kostenersparnis, Verlustminimierung

3.4.1 Passivhaustechnik

Die konventionelle Passivhaustechnik wird als Standardausrüstung im Gebäudemodul vorgefertigt integriert. Dabei sind im Modul Sanitärinstallationen und Anschlüsse für Haushaltsgeräte eingeplant sowie die Kernkomponenten des Lüftungs- und Heizungssystems.

Sanitärinstallationen: Die Sanitärleitungen sowie Sanitäreinrichtungsgegenstände sind im Gebäudemodul vollständig vorinstalliert. Hierzu wird auf marktgängige Installationsbausteine zurückgegriffen.[4]

Haushaltsgeräte: Einige Haushaltsgeräte benötigen zum Betrieb Warmwasser (z.B. Waschmaschine, Geschirrspüler). Um die Energie zur Erwärmung des Wassers primärenergetisch möglichst optimal bereitstellen zu können, haben Hersteller bereits Geräte mit Kalt- und Warmwasseranschlüssen entwickelt. (Solar bereitetes Warmwasser ist der Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstäben eindeutig vorzuziehen.) Eine Marktrecherche für Haushaltsgeräte ergab, dass mittlerweile bereits mehrere Hersteller unterschiedliche Geräte auf den Markt gebracht haben. Dadurch ist der Kunde nicht auf nur ein Produkt eingeschränkt. Die Geräte selbst können auch bereits im Modul vorinstalliert werden. Anschlussmöglichkeiten dieser Geräte werden unter anderem im Kapitel 5.10 anhand einer Prototyp-Testanlage detaillierter betrachtet.

Lüftungssystem: Die Kernkomponenten des Lüftungssystems (Lüftungsgerät, Schalldämpfer) werden im Gebäudemodul vollständig vorinstalliert. Die Verteilleitungen zu und von den einzelnen Räumen werden ebenfalls so weit wie möglich vorinstalliert. Die Außenluftvorwär-

[4] Wimmer et al. (2009) S. 92ff.

mung über einen Luft-Erdreich-Wärmetauscher bzw. über einen Sole-Erdreich-Wärmetauscher kann nur auf der Baustelle errichtet werden. Ein Anschluss an das Gebäudemodul ist über Steck- bzw. Schnellverbindungen möglich. Eine Wärmeverteilung über ein wassergeführtes Heizsystem ist notwendig.

Heizungssystem: Die Kernkomponenten des Heizungssystems (Niedertemperatursolaranlage, Wärmespeicher, Heizungsverteiler) werden im Gebäudemodul vollständig vorinstalliert. Für das Wärmeverteil- und Wärmeabgabesystem wurden unterschiedliche Überlegungen angestellt, die sich in Bezug auf Komfort (Raumklima/ Regelbarkeit), technische Eignung (Integrierbarkeit in Bausystem/ Platzbedarf/ der solaren Versorgung angepasstes Temperaturniveau) und Kosten (Investition/ Betrieb) unterscheiden.[5]

Für Leitungsverbindungen im Bereich der konventionellen Haustechnik gibt es Schnellverbindungen unterschiedlicher Hersteller zum Anschluss des Gebäudemoduls an die Versorgungsleitungen.

Tabelle 1: Heizungssystemvarianten

Wärmeabgabe/ Varianten	**Luftheizung (Wärmetransport über Frischluft)**	**Bauteilaktivierung (Betondecke)**	**Fußbodenheizung**	**Niedertemperatur-Heizkörper**
Winterlicher Komfort	Gefahr von zu trockener Luft[6] im Winter, da der Luftwechsel an den Heizbedarf gebunden ist → Außenluft mit Feuchtegehalt unter 3g/kg trocknet die Raumluft aus	Wärmestromrichtung von oben nach unten für Heizfall ungünstig/ Begrenzung Deckenoberflächentemperatur auf 30°C	Wärmestromrichtung von unten nach oben für Heizfall günstig/ Begrenzung Fußbodenoberflächentemperatur aus physiologischen Gründen auf 28°C	Konvektionsanteil überwiegt den Strahlungsanteil → geringerer Komfort, Vorteil:[7] „Warmer Platz“ im Raum durch höhere Oberflächentemperatur
Regelbarkeit	Einzelraumregelung nur mit erhöhtem Aufwand möglich, schnell regulierbares System	Einzelraumregelung bedingt möglich, sehr träges System	Einzelraumregelung möglich, träges System	Einzelraumregelung möglich, schnell regulierbares System
max. Vorlauftemperatur	60°C → wenig geeignet	40°C → gut geeignet	40°C → gut geeignet	55°C → bedingt geeignet
Kosten	Geringster Installationsaufwand	Erhöhter Installationsaufwand	Erhöhter Installationsaufwand	Mittlerer Kostenaufwand

[5] Streicher et al. (2004): S. 119ff.
[6] Rohregger et al. (2004) S. 86f.
[7] Rohregger et al. (2004) S. 83f.

3.4.2 Vergleich von Haustechnikkonzepten

Im Rahmen der Planung für ein Prototypgebäude in Grödig/Salzburg (A) wurden verschiedene Haustechnik- und Energiekonzepte miteinander verglichen.
Ziel des Vergleichs ist es, die unterschiedlichen Konzepte auf Eignung für den Einsatz im Zero Carbon Village zu prüfen. Als Besonderheit ist hervorzuheben, dass aufgrund des gewünschten Demonstrationscharakters der Anlage die Wärmeabgabe für alle Varianten mittels Bauteilaktivierung in einer Betondecke erfolgt.
Diese Technologie hat für die Anwendung im Wohnbau folgende Eigenschaften:

Vorteile:

- Geringe Heizflächenmitteltemperatur, daher besonders gut geeignet für Niedertemperatursysteme wie Solarwärme oder Wärmepumpe
- Hoher Strahlungsanteil bei der Wärmeabgabe, gutes Behaglichkeitsempfinden
- Große raumwirksame Speichermasse, dadurch Ausgleich von kurzzeitigen Lastspitzen und hohe Wärmeaufnahmekapazität bei sommerlichen Wärmeperioden
- Eignung zur Kühlung
- Keine Einschränkung der Möblierung gegeben (im Vergleich zu Fußboden- oder Heizkörperheizung)

Nachteile:

- Große Systemträgheit, deshalb erschwerte Bedarfsanpassung bei schwankendem Lastverhalten
- Träges Regelverhalten/ Veränderung zwischen Stellgliedanpassung und Reaktion der Regelstrecke mit Verzögerung spürbar -> kann zu Überregelung führen
- Einzelraumregelung schwer realisierbar (Zuordnung zu einem Raum aufgrund zusammenhängender wärmeleitender Deckenstruktur)
- Temperaturgradient im Raum oben warm/ unten kühler kann unbehagliches Wärmeempfinden auslösen
- Wärmestau unter der Decke
- Strahlungswärme dringt nicht in den Strahlungsschatten von Tischen/ kann zum Empfinden kalter Füße führen
- Notwendigkeit des mineralischen Baustoffes Beton steht in Widerspruch zum Ziel der weitgehenden Verwendung nachwachsender Rohstoffe, daneben ist durch die Verbindung von Polyäthylen- Rohren mit der Stahlbetondecke die Rückbaubarkeit eingeschränkt

3.4.2.1 Kurzbeschreibung der Varianten

Variante 1: „ALL IN ONE“

Ein dezentraler Luft-Luft-Wärmetauscher mit Wärmepumpe, für Warmwasser und Betonkernaktivierung, solar unterstützt.

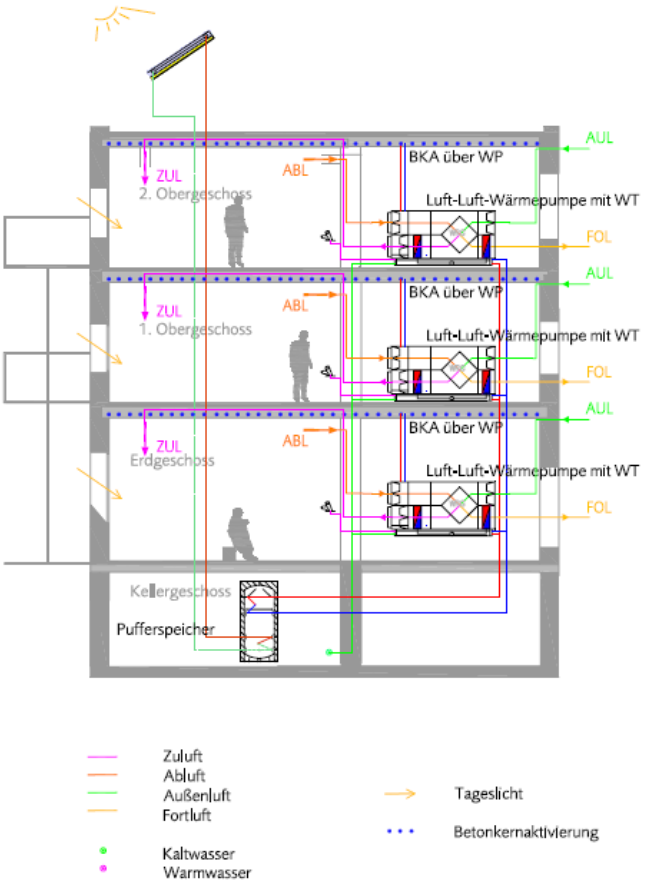


Abbildung 53: Variante 1 – All in one (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Variante 2: WOHNUNGSSTATION - ZENTRALE WÄRMERÜCKGEWINNUNG AUS LUFT

Betonkernaktiviert, Wohnungsstationen für Heizung und Warmwasser / Warmwasser solar, Zentrale Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung

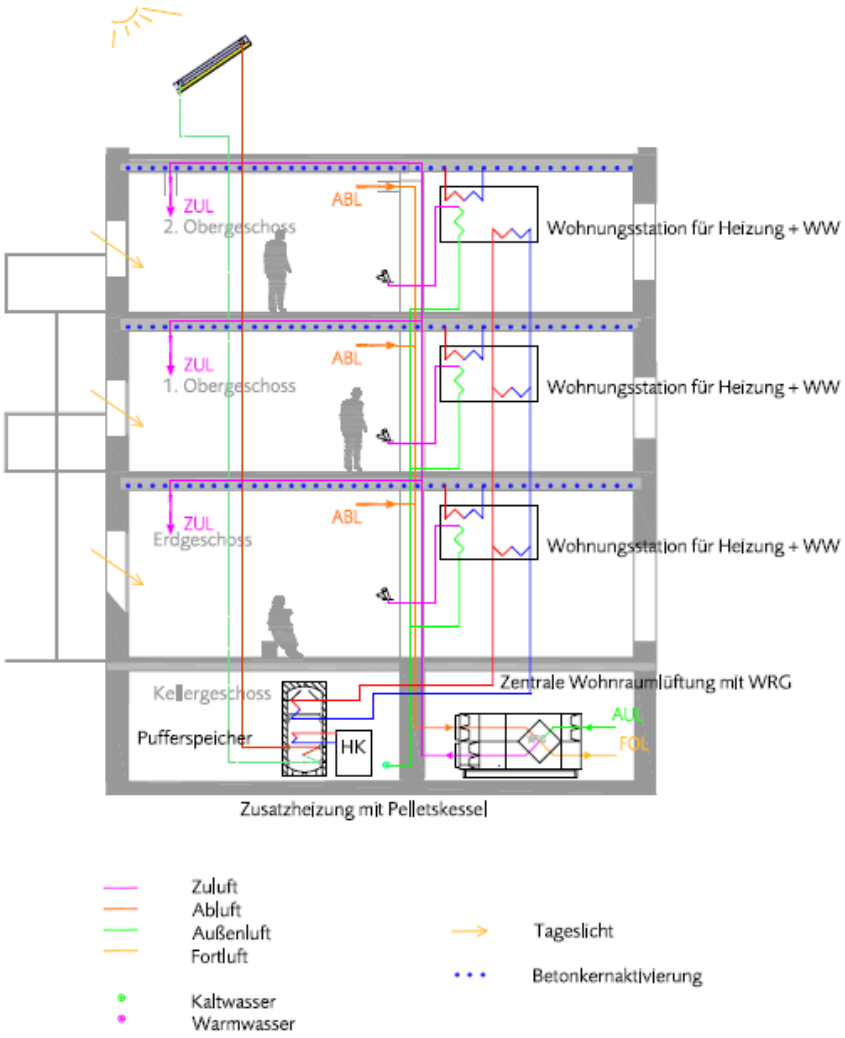


Abbildung 54: Variante 2 – Wohnungsstation – zentrale Wärmerückgewinnung aus Luft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Variante 3: WOHNUNGSSTATION – DEZENTRALE LÜFTUNG

Solare Betonkernaktivierung, Warmwasser solar, Dezentrale Lüftungsgeräte mit Luft-Luft-Wärmetauscher

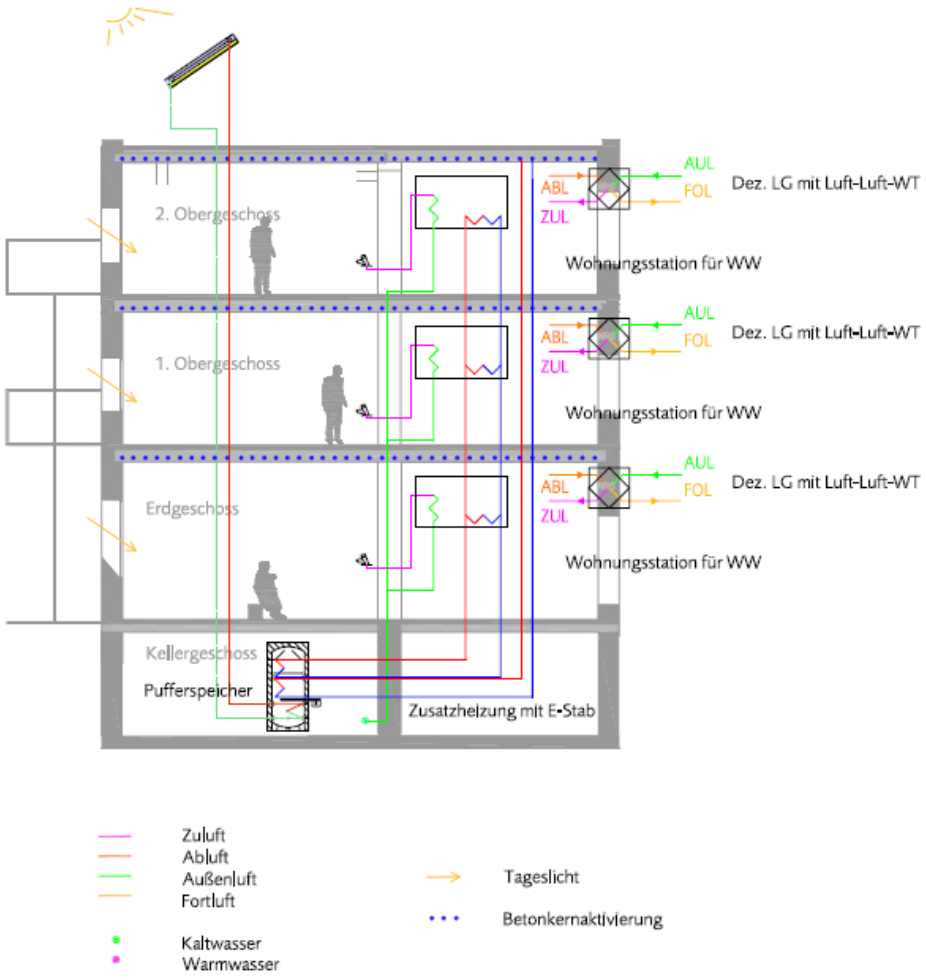


Abbildung 55: Variante 3 – Wohnungsstation – dezentrale Lüftung (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Variante 4: BETONKERNAKTIVIERUNG MITTELS LUFT

Luft-Vorheizung aus dezentralem Luft-Luft-Wärmetauscher und solargespeiste Register, Warmwasser solar aus Wohnungsstationen

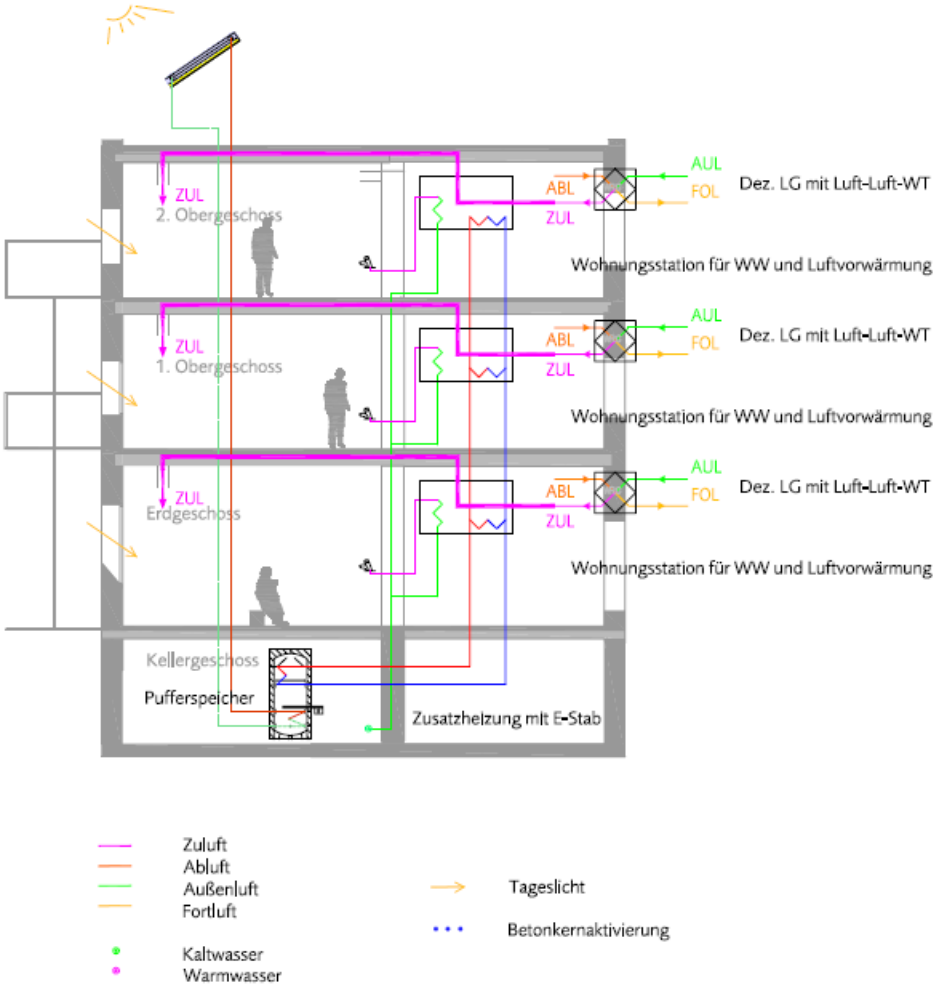


Abbildung 56: Variante 4 – Betonkernaktivierung mittels Luft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Variante 5: DEZENTRALE WARMWASSER WÄRMEPUMPE

Warmwasser aus dezentraler Luft-Luft-Wärmepumpe mit integrierter Lüftung, Solar beton-kernaktiviert, elektrische Zusatzheizung

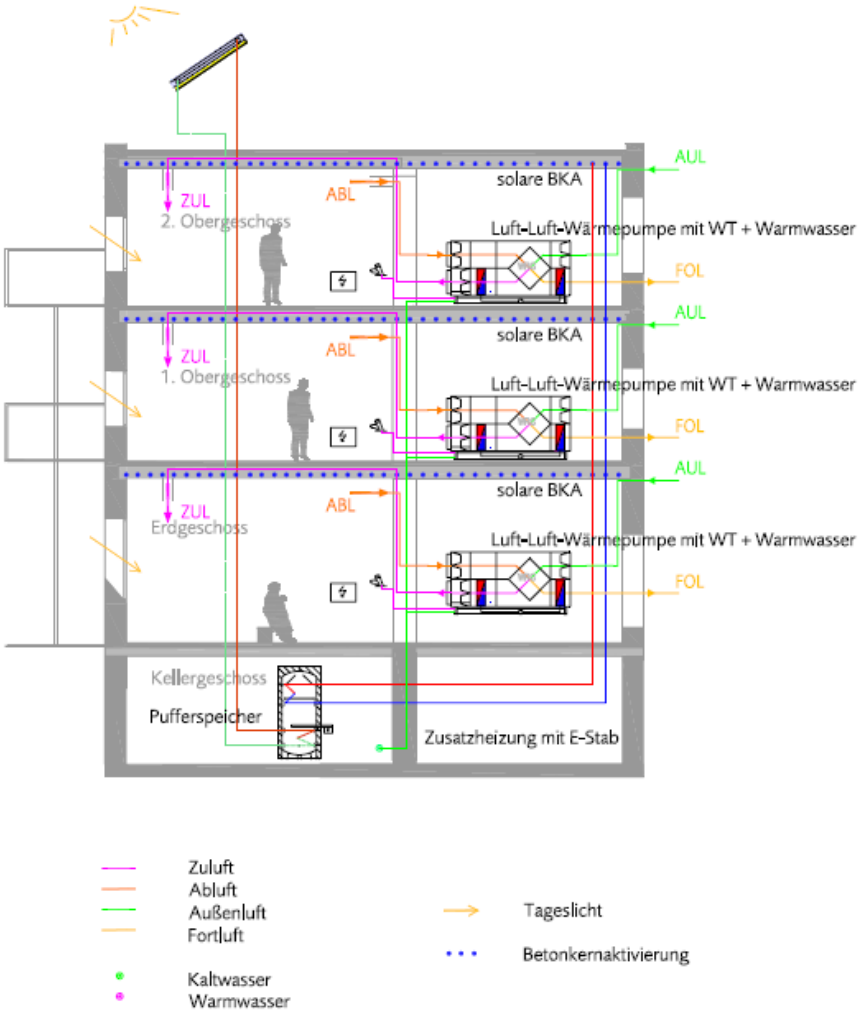


Abbildung 57: Variante 5 – Dezentrale Warmwasser Wärmepumpe (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Variante 6: WARMWASSER AUS ABLUFT

Warmwasser aus zentraler Wärmerückgewinnung der Abluft – kontrollierte Undichtheit –, solare Betonkernaktivierung

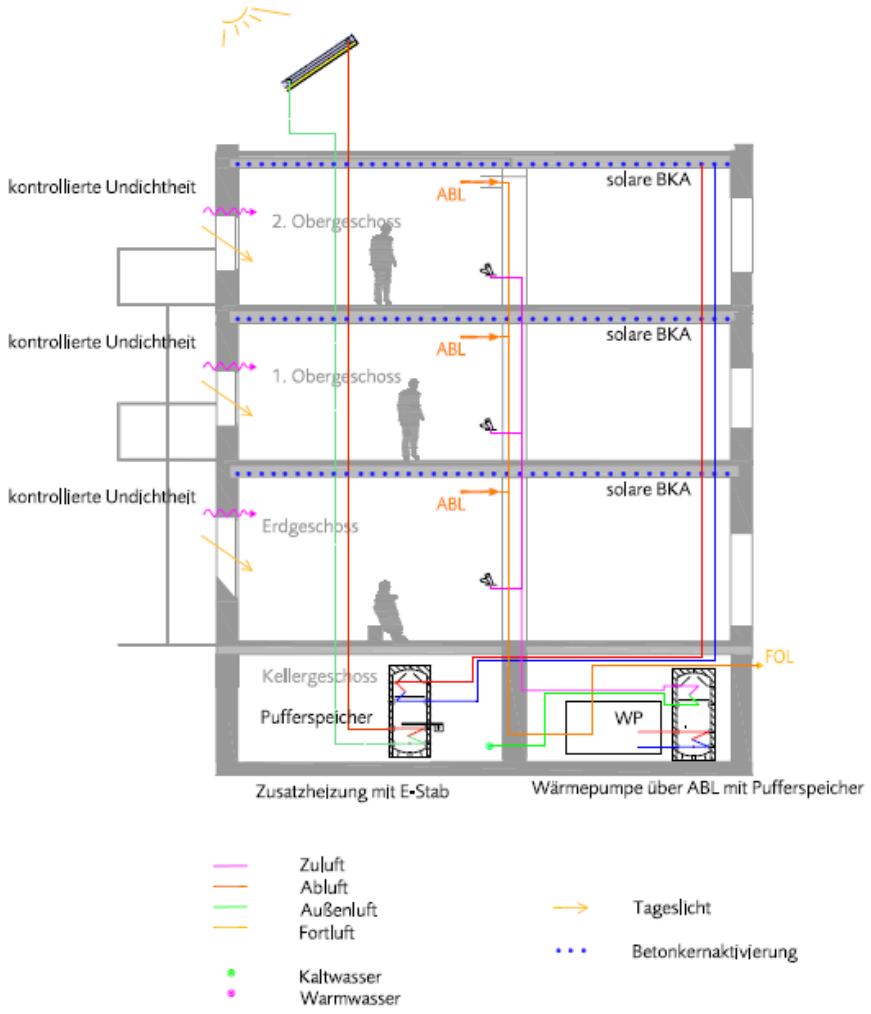


Abbildung 58: Variante 6 – Warmwasser aus Abluft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Variante 7: ZENTRALE WÄRMERÜCKGEWINNUNG AUS ABLUFT

Zentrale Abluft, Wärmepumpe führt Wärme Pufferspeicher zu, dezentrale Erwärmung der Zuluft

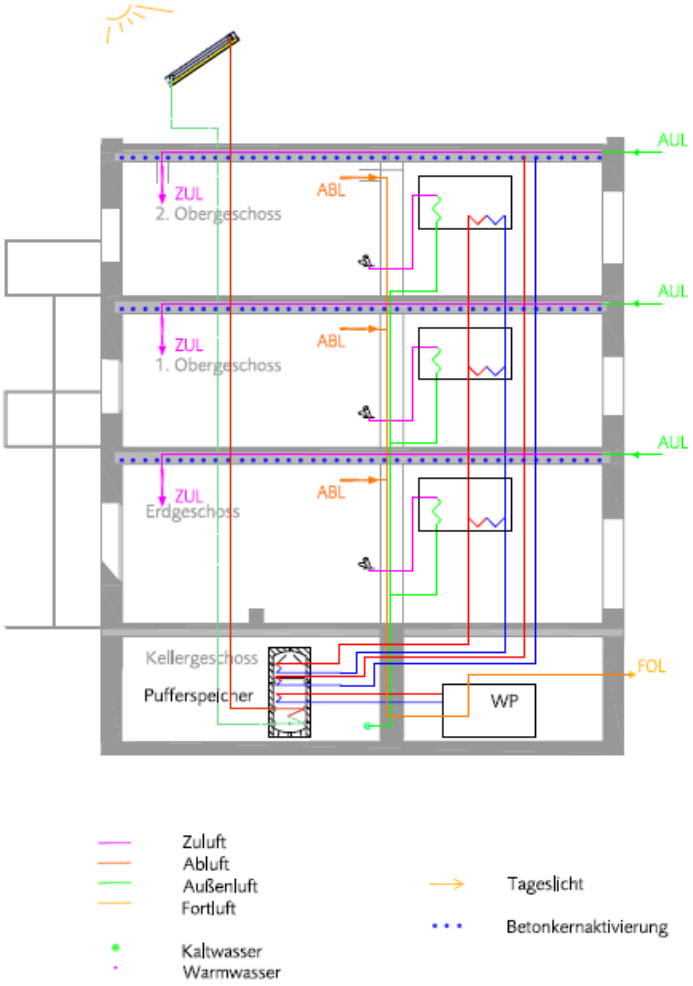


Abbildung 59: Variante 7 – Zentrale Wärmerückgewinnung aus Abluft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi)

Tabelle 2: Übersicht Haustechnikvarianten Zero Carbon Village Prototyp Salzburg

Variante	1	2	3	4	5	6	7
Wärme-erzeu-gung	Abluft-Wärme-pumpe dezentral kombiniert mit Solar-wärmean-lage	Pellets - Wärme-zentrale kombiniert mit Solar-wärmean-lage	Pellets - Wärme-zentrale kombiniert mit Solar-wärmean-lage	Pellets - Wärme-zentrale kombiniert mit Solar-wärmean-lage	Abluftwär-me-pumpe dezentral und direkt-elektrisch kombiniert mit Solar-wärme-anlage	Abluft-Wärme-pumpe zentral kombi-niert mit Solar-wärme-anlage	Abluft-Wärme-pumpe zentral kombi-niert mit Solar-wärme-anlage
Wärme-verteil-lung	wasser-geführt	wasser-geführt	wasser-geführt	luftgeführt	wasser-geführt	wasser-geführt	wasser-geführt
Wärme-abgabe	Bauteilak-tivierung Decke	Bauteilak-tivierung Decke	Bauteilak-tivierung Decke	Bauteilak-tivierung Decke	Bauteilak-tivierung Decke	Bauteil-aktivie-rung Decke	Bauteil-aktivie-rung Decke
Wohn-raumlüf-tung Konzept	dezentrale Wärme-rückge-winnung	zentrale Wärme-rückge-winnung	dezentrale Wärme-rückge-winnung	dezentrale Wärme-rückge-winnung	dezentrale Wärme-rückge-winnung	Abluft-anlage	Abluft-anlage
Anmer-kungen							

3.4.2.2 Vergleich der Varianten

Beurteilungskriterien der Varianten

- Entspricht dem Projektkonzept ZCV
- Einfachheit in der Errichtung (Technik, Montage)
- Kosten
- Bedienbarkeit (Wartung durch Hausverwaltung)
- Nutzertauglichkeit (Behaglichkeit, Nutzungskomfort, Fehlbedienungsanfälligkeit)
- Kompatibel zur nachhaltigen Entwicklung
    - Faktor 10 (Ressourceneffizienz)
    - Cradle to Cradle (Rückbaubarkeit)
    - Klimakompatibel (CO_2-Emissionen)

Die Bewertung erfolgt durch Vergabe von 0 bis 2 Punkten je Variante und Kriterium

Kriterium Kongruenz zum Projektkonzept ZCV

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Entspricht Produktidee	1	2	2	2	0	1	1

Anmerkungen:

- Wärmepumpe entspricht nur bedingt dem Projektkonzept, da die Wärmepumpe Strom für den Betrieb benötigt und somit einen nicht zwingend elektrisch zu versorgenden elektrischen Bedarf generiert
- Elektrische Zusatzheizung entspricht gar nicht dem Projektkonzept

Kriterium Einfachheit (Technik)

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Lüftung	1	0	1	1	1	2	2
Heizung	2	1	0	1	2	0	0
Wärmeabgabe	1	1	1	0	1	1	1
Einfachheit (Technik)	**4**	**2**	**2**	**2**	**4**	**3**	**3**

Anmerkungen:

- Lüftung: Vorteil dezentral
- Heizung: Wohnungsstationen einfacher; Vorteil dezentral
- Bauteilaktivierung mittels Luft komplizierter regelbar

Kriterium Kosten Investition

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Lüftung	0	1	0	0	0	1	1
Wärmeerzeugung/Speicher	1	0	0	0	0	0	0
Wärmeverteilung	1	0	1	0	0	0	1
Kosten - Investition	**2**	**1**	**1**	**0**	**0**	**1**	**2**

Anmerkungen:

- Wohnungsstationen verhältnismäßig teuer
- Variante 1: alle Komponenten sollten erhältlich sein, Montage dezentral kostengünstig
- Variante 3: günstiger als Wohnungsstationen (Wärmeverteilung)
- Variante 5: teuer, da WP und zentrale System für Wärmeerzeugung vorhanden
- Variante 6/7: zentrale Systeme

Kriterium Bedienbarkeit – Wartung (Hausverwaltung)

Basis Annahme: Temperatur und Luftregelung (3. Stufen) durch Nutzer; weitere Wartungsoptionen übernimmt die Hausverwaltung

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Lüftung	0	1	0	0	0	1	1
Wärme	0	1	1	1	1	1	1
Bedienbarkeit - Wartung	**0**	**2**	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**

Anmerkungen:

- Dezentral: hoher Aufwand (= 0 Pkt.)
- Zentral: geringer Aufwand (= 1 Pkt.)

Kriterium Nutzertauglichkeit – Missbrauchsmöglichkeiten

Ist reziprok zu Bedienbarkeit – Wartung

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Lüftung	0	1	0	0	0	1	1
Wärme	0	1	1	1	1	1	1
Nutzertauglichkeit - Missbrauch	**0**	**2**	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**

Anmerkungen:

- Dezentral: Missbrauchsmöglichkeit hoch (= 0 Pkt.)
- Zentral: Missbrauchsmöglichkeit gering (= 1 Pkt.)

Kriterium Nachhaltige Entwicklung

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Ressourceneffizienz	1	2	2	2	0	1	1
Rückbau	2	0	1	1	1	0	0
CO_2-Emissionen	0	0	0	0	0	0	0
Nachhaltige Entwicklung	**3**	**2**	**3**	**3**	**1**	**1**	**1**

Anmerkungen:

- Ressourceneffizienz *(Energie) entspricht Bewertung Projektkonzept*
- Rückbau: Dezentral positiv; Zentral negativ
- CO_2-Emissionen (Materialien): kaum Abweichung, einzig evtl. Variante 4: keine Betonkernaktivierung

Gesamtergebnis Bewertung

Variante	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Entspricht Produktidee	1	2	2	2	0	1	1
Einfachheit (Technik)	2	0	0	0	2	1	1
Kosten - Investition	2	1	1	0	0	1	2
Bedienbarkeit - Wartung	0	2	1	1	1	2	2
Nutzertauglichkeit - Miss-brauch	0	2	1	1	1	2	2
Nachhaltige Entwicklung	2	1	2	2	0	0	0
Gesamt	**7**	**8**	**7**	**6**	**4**	**7**	**8**

Anmerkungen:

- Betriebskosten nicht integriert
- Bewertung der Einzelergebnisse: 0 bis 2 Punkte (für gleiche Gewichtung)

Fazit

Bei dieser Bewertung erzielten die Varianten 2 (Wohnungsstation – zentrale Wärmerückgewinnung aus Luft) und 7 (Zentrale Wärmerückgewinnung aus Abluft) die besten Ergebnisse, Es ist jedoch noch einmal explizit darauf hinzuweisen, dass diese Bewertung nicht ausschließlich nach ökologischen, sondern auch nach wirtschaftlichen Aspekten erfolgte.

4 Virtuelle Fabrik – Organisationsstruktur für die Fertigung

Vorteile der Vorfertigung von Gebäudeteilen sind die höhere Effizienz bei der Herstellung und verlässliche Qualität durch Standardisierung. Diese Eigenschaften können nicht nur auf technischer, sondern auch auf organisatorischer Ebene umgesetzt werden. In der sogenannten Virtuellen Fabrik (vgl. Wimmer et al. 2009) erfolgt die Vorfertigung von modularen, standardisierten Gebäudeteilen dezentral durch die jeweils geeigneten Betriebe, während Planung, Kundenbetreuung und Marketing zentral durchgeführt werden.

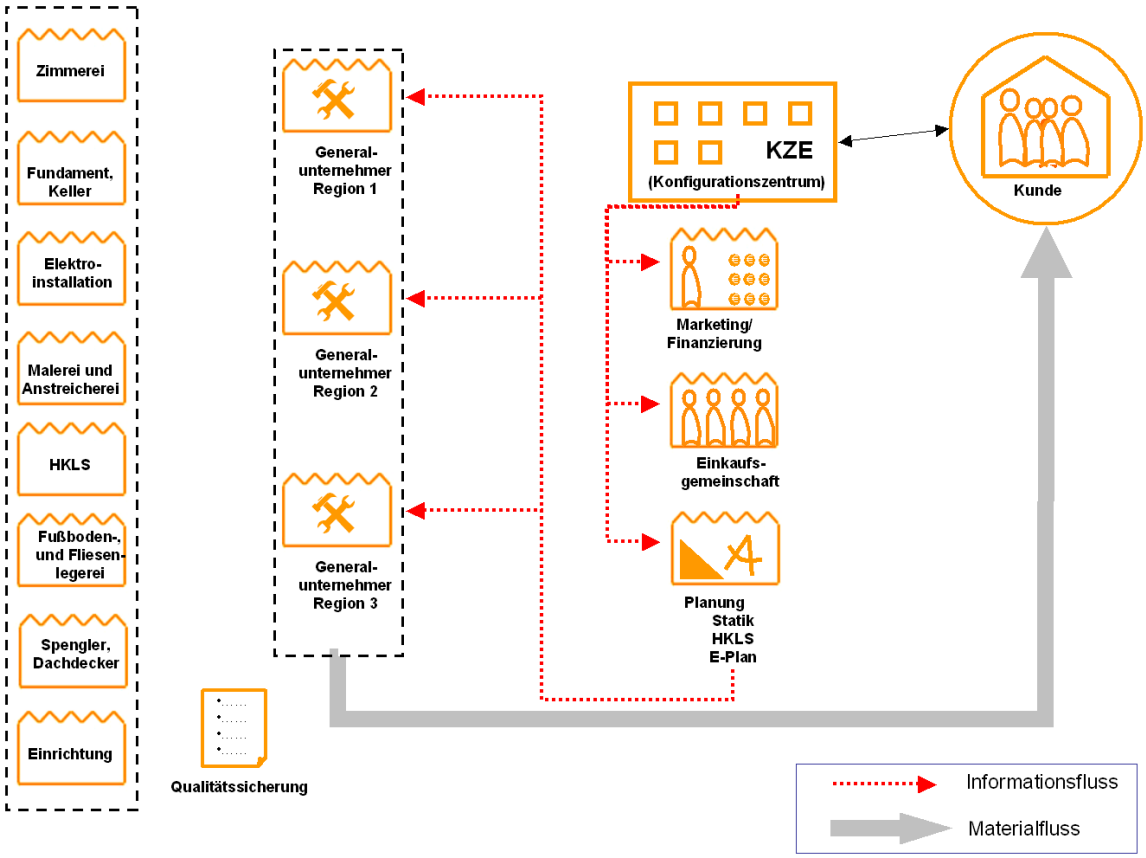


Abbildung 60: System einer Virtuellen Fabrik

Die einzelnen Betriebe können sich auf ihren jeweiligen Schwerpunkt konzentrieren, durch die zentrale Steuerung und verstärkte Kooperation untereinander entsteht aber ein komplexes und zugleich qualitativ hochwertiges Gesamtprodukt. Die dezentrale Zusammenarbeit hält die Baubranche trotz der kleinteiligen Unternehmensstrukturen wettbewerbsfähig. Transportwege können durch die zentral gesteuerte Logistik minimiert werden.

In Hinblick auf die Fertigung des Zero Carbon Village wurden verschiedene **Fertigungsszenarien** recherchiert, dokumentiert und analysiert, die mit vorgefertigten Gebäudemodulen arbeiten (Kapitel 4.1 und 4.2). Dazu gehören auch die Strohballengebäude und die ZCV-Prototypen, deren technische Aspekte bereits in Kapitel 3.2 dargestellt wurden.

Als Bestandteil einer rationellen Fertigung wird das Konzept der **Mass Customization mit Konfigurationsmöglichkeiten** anhand von Beispielen beschrieben (Kapitel 4.3).

Das **Umsetzungspotenzial für eine Virtuelle Fabrik in der Zielregion** des Zero Carbon Village (Traismauer/NÖ) wird in Kapitel 4.4 dargestellt. Zu diesem Zweck wurden regionale Stakeholder eingebunden und konkrete Lösungen für die Logistik in Workshops gemeinsam erarbeitet. Als organisatorisches Modell für die Kooperation der Betriebe wird die Form einer Genossenschaft in Erwägung gezogen.

4.1 Analyse von Fertigungsszenarien

Für die Vorfertigung von Gebäudemodulen gibt es bereits einige Beispiele von Unternehmen. Um einen für das Zero Carbon Village geeigneten Fertigungsablauf zu finden, wurden solche bereits bestehenden Organisationen recherchiert. Diejenigen, die für das ZCV prinzipiell infrage kommen, wurden in weiterer Folge für einen direkten Vergleich ausgewählt, also solche, die Strohballen als Dämmstoff nutzen und auch weitere Kriterien wie die Rückbaubarkeit der Fertigteile erfüllen. Dazu wurden unter Anwendung des sogenannten System-Mappings strukturierte Schemata entworfen, welche folgende Elemente und deren Vernetzung veranschaulichen:

- Set der erforderlichen Funktionen für die Virtuelle Fabrik
- eingesetzte Technologien
- beteiligte Akteure und Schnittstellen
- erforderliche Interaktionen und Informationsflüsse zwischen den beteiligten Akteuren

4.1.1 Vorfertigung von Betonmodulen

Die Firma Schnauer Raumzellen GmbH stellt Fertigmodule aus Beton für Garagen, Heizanlagen, Tankstellen und Justizanstalten her. Die Module für Justizanstalten z. B. enthalten bereits alle Heiz-, Kühl- und Lüftungskomponenten, wobei sich die Schnittstellen für diese und für elektrische Leitungen auf der Außenseite der Module befinden. Rohrleitungen, Dosen, Türen und Fenster können alle bereits im Werk eingeplant werden. Die Planung muss sorgfältig erfolgen, damit beim Zusammensetzen der Module an der Baustelle die entsprechenden Rohre zusammenpassen – Toleranzen sind dabei einzuplanen. Ebenfalls bereits im Vorhinein zu berücksichtigen ist die Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten, da Änderungen an den Betonmodulen im Nachhinein kaum möglich sind.

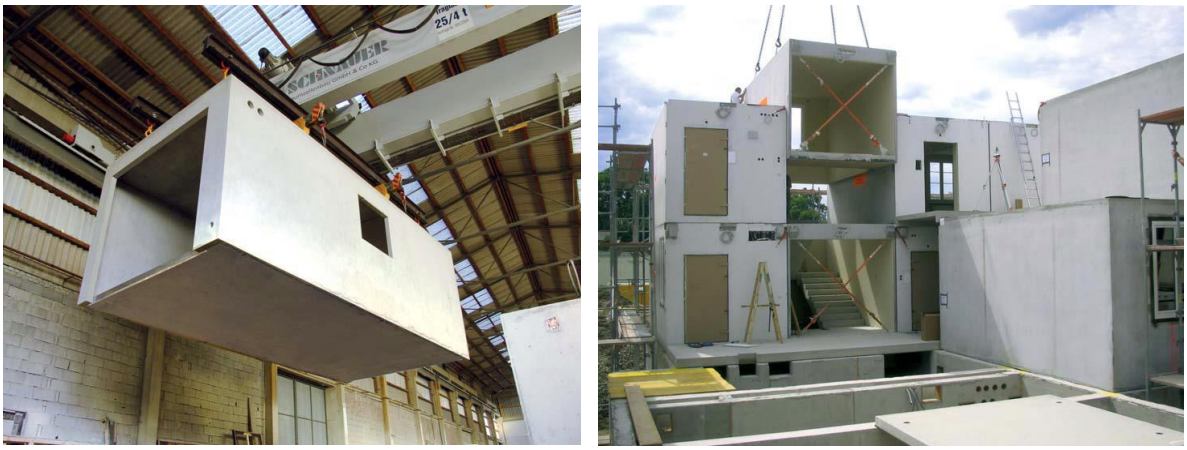


Abbildung 61: Links: Vorfertigung im Werk; rechts: Zusammensetzen der Module

Der Rückbau der Fertigmodule sieht in diesem Fall so aus, dass die Armierungsgitter entfernt werden und der Beton geschreddert wird (für Straßenunterbau etc.). Die integrierten Rohrleitungen können zurzeit noch nicht aus der Betonmasse extrahiert werden.
Aufgrund der negativen ökologischen Auswirkungen (Beton, keine nachwachsenden Rohstoffe, mangelhafte Rückbau- und Recyclingmöglichkeiten) kommen Module von dieser Art nicht für das Zero Carbon Village infrage, sie zeigen aber bereits, wie der Fertigungsablauf aussehen kann und welche planerischen Aspekte zu berücksichtigen sind.

4.1.2 Vorfertigung von gedämmten KLH-Modulen

Ein Beispiel für die Vorfertigung von Gebäudemodulen aus Holz bieten Module, die vom Unternehmen KLH Massivholz GmbH aus Kreuzlagenholz-Platten gefertigt werden. Boden-, Wand- und Deckenplatten werden im Werk miteinander verschraubt (ohne Verklebung) und als Modul inklusive Fenster und Dämmung an die Baustelle transportiert. Die Module enthalten eine fertig installierte Küche wie auch ein Bad. Anschlüsse verlaufen immer an derselben Seite, sodass mehrere Module einfach übereinandergestapelt werden können.

Abbildung 62: Werkseitige Vorfertigung inkl. Dämmung und Fenster (links) und Transport der fertigen KLH-Module (rechts)

Am untersuchten Fertigungsablauf (Herstellung von Unterkünften für die Winterspiele in Turin) waren Unternehmen aus folgenden Gewerken beteiligt:

- Zimmerer
- Installateur
- Elektriker
- Bodenleger für Holz- und Naturkautschukbeläge
- Tischler
- Montagetischler
- Maler

Die Herstellung der Module war vom Ablauf und der Koordination her sehr schwierig, die Ausführung der Arbeiten von den Handwerkern der einzelnen Gewerke war mangelhaft und nicht an der Modulbauweise ausgerichtet. Beispielsweise wurden für jedes Modul zu Beginn sämtliche Abstände neu abgemessen, obwohl diese natürlich identisch waren. Dies hatte einen unnötigen Zeit- und Materialverbrauch zur Folge. Zu Beginn wurden zwei Module pro

Tag gefertigt, später waren es bereits 25–30 Module pro Tag. Eine Einschulung der Handwerker/Unternehmen, die noch keine Erfahrung im Bereich der industriellen Serienfertigung haben, ist daher notwendig. Selbst Professionisten müssen noch eingeschult werden.
Der Anschluss der Module an die vorbereiteten Versorgungsleitungen auf der Baustelle verlief unproblematisch, da beim Rohbau für die Anschlussstellen der Leitungen nur die Durchbrüche vorgesehen sind. Die eigentliche Verrohrung und Verkabelung findet erst vor Ort auf der Baustelle statt, wenn die Module aufgestellt sind. Bei dieser Abfolge ist eine exakte Planung der Durchbrüche erforderlich. Es zeigte sich jedoch, dass einige Durchbrüche nicht ausgespart werden konnten und mittels Betonbohrverfahren nachgefertigt werden müssen. Trotzdem konnten die Module in Turin relativ rasch und ohne größere Probleme angeschlossen werden.
Nur beim Aufbau des ersten Modulcontainers waren Mitarbeiter der Herstellerfirma vor Ort auf der Baustelle. Die weiteren Aufstellungsarbeiten wurden nach dieser Einschulung dann zur Gänze von der örtlichen Errichtungsfirma übernommen.
Die Demontage der Module nach der Nutzung verlief an sich aufgrund der ausschließlich mechanischen Befestigungen unproblematisch. Einzig die Witterungsverhältnisse sorgten für Verzögerungen/Komplikationen, da nach dem Rückbau des Daches die Module durch den Einsatz von Folien vor Niederschlag geschützt werden mussten. Eine bessere Lösung wäre, das Dach so zu konzipieren, dass ein etappenweiser Rückbau des Daches möglich ist, um die Module während der gesamten Demontage vor Niederschlag zu schützen.
Sämtliche Module konnten zerstörungsfrei demontiert und für andere Bauvorhaben, hauptsächlich Personalwohnhäuser in Touristik-Regionen, wiederverwendet werden.
Auch die Betonfertigteilfundamente wurden wieder ausgegraben und fanden zum größten Teil ebenfalls Anwendung in anderen Bauprojekten. Gleiches gilt für die Installationsverbindungen der einzelnen Module.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Analyse flossen in das Konzept des Zero Carbon Village ein, dazu müssen aber einerseits technische, andererseits organisatorische Verbesserunen eingeplant werden:

- Die Dämmung der KLH-Module kann maximal mit einer Schicht von 10 cm ausgeführt werden, was die Auswahl der möglichen Dämmstoffe einschränkt – derzeit sind keine Strohballen möglich.
- Der Rückbau der Module ist zwar wegen der Verschraubungen möglich, noch besser wäre jedoch, die Wände in eingefräste Nuten zu stellen.
- Die Restwärme für die Module wird elektrisch bereitgestellt, das widerspricht dem ZCV-Konzept. Eine andere Form der Energieversorgung mit entsprechenden Anschlüssen müsste eingeplant werden.
- Der Fertigungsablauf war nicht zufriedenstellend und muss erst optimiert werden. Beispielsweise könnten Waschbecken, Toilette und entsprechende Anschlüsse in einer vollständig vorgefertigten Installationswand geliefert werden, statt einzelne Gewerke an der Baustelle zu beschäftigen.

4.1.3 Vorfertigung und werkseitige Strohballendämmung von Außenwandelementen

Diese Variante der Fertigung wurde vom Projektpartner *Atelier Werner Schmidt* für ein Gebäude angewandt und ist vor allem aufgrund der Vorfertigung von Strohballenfertigteilen für das Zero Carbon Village interessant. Im Folgenden werden vor allem die logistischen und organisatorischen Aspekte betrachtet, die technischen wurden bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben.

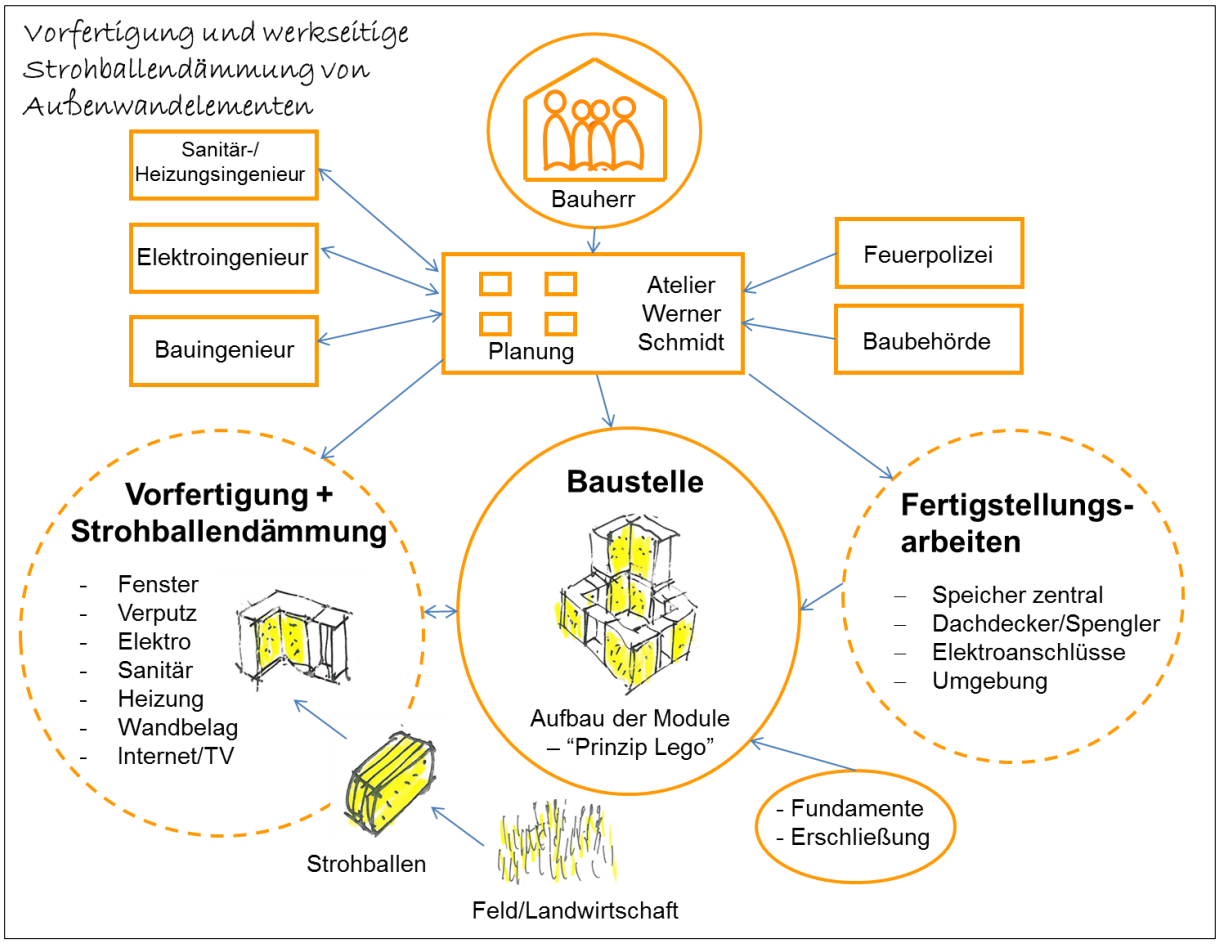


Abbildung 63: Fertigungsvariante 1 „Vorfertigung und werkseitige Strohballendämmung von Außenwandelementen" (Grafik: Atelier Werner Schmidt/GrAT)

Das Architekturbüro plant das ganze Gebäude in Einzelteilen, die als Teil-Elemente vorfabriziert werden können (Außenwandelemente mit Türen und Fenstern, Deckenelemente, Dachelemente etc.).

Eine Firma in der Umgebung produziert diese Elemente in der Halle inkl. Stroheinbau, Fenstereinbau, Elektroleitungen, Verputz innen und außen etc.

Alle Teile werden wie einzelne, vorfabrizierte „Legosteine" per LKW geliefert und mithilfe eines Krans auf der Baustelle zusammengebaut.

Der Zusammenbau der kleinen „Legosteine" (Außenwandelemente, Deckenelemente etc.) wird für ein Einfamilienhaus in 2 bis 3 Tagen fertiggestellt. Sobald das Dach montiert ist, werden die Elektroinstallationen fertiggestellt, die Böden eingebracht, Zwischenwände und Stiegenhaus gebaut, die Küche montiert etc.

Dieses Prinzip des Bauablaufes hat den großen Vorteil, dass über den Winter die Elemente witterungsgeschützt vorgefertigt werden können, um dann im Frühling in kürzester Zeit die Gebäudehülle zu errichten.
Die Koordination der gesamten Baustelle erfolgt durch eine örtliche Bauleitung, die Koordination für die Aufstellung und den Anschluss der vorgefertigten Wandelemente jedoch durch den Vorarbeiter der Herstellerfirma der Bauteile.

4.1.4 Vorgefertigte Zimmerelemente / Strohummantelung vor Ort

Diese Fertigungsvariante mit Stroh wurde ebenfalls vom Projektpartner *Atelier Werner Schmidt* realisiert (siehe auch Kapitel 3.2.2).

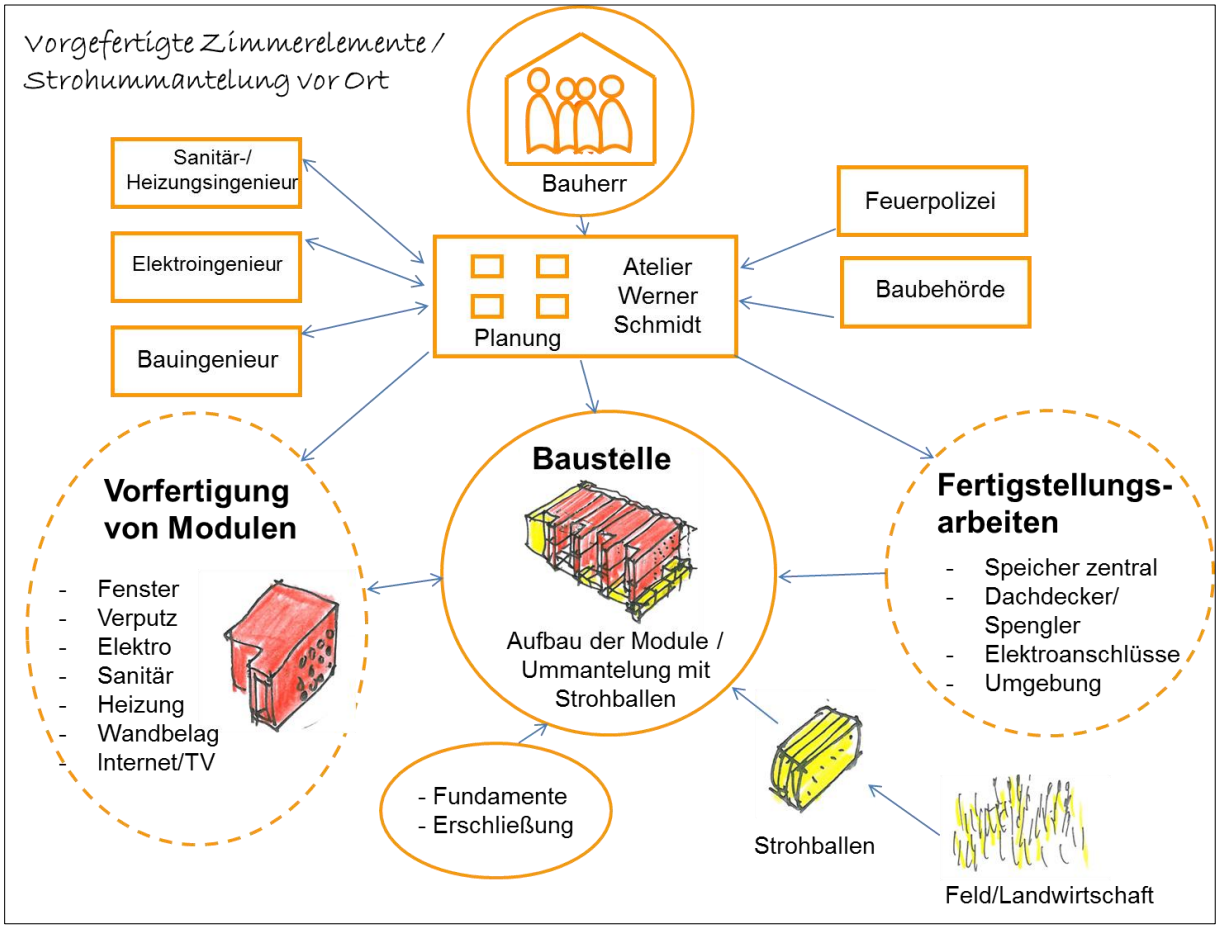


Abbildung 64: Fertigungsvariante 2 „Vorgefertigte Zimmerelemente / Strohummantelung vor Ort“ (Grafik: Atelier Werner Schmidt/GrAT)

Das Architekturbüro plant das Ausführungsprinzip und zeichnet Konstruktions- und Detailpläne. Die Zimmer haben alle denselben (oder spiegelverkehrten) Aufbau mit gleicher Leitungsführung.
Ein größeres Unternehmen offeriert den gesamten Aufbau aus vorgefertigten Elementen mit sämtlichen Installationen und Oberflächen (Nasszellen, Haustechnik etc.). Der Aufbau wird durch dieses Unternehmen organisiert und realisiert.
Die Zimmerelemente werden mit LKW (und, aufgrund der Abmessungen, mit Polizeibegleitung – zumindest im Fall der Schweiz) geliefert und mithilfe eines Krans aufgestellt. Anschließend wird an der Baustelle mit Großstrohballen (wiederum mithilfe eines Krans) ein „Mantel“ um die vorfabrizierten Hotelzimmer gebaut und verputzt bzw. verschalt.

Der Hauptanteil der verschiedenen Koordinationsschritte und die Realisation der Arbeiten des Zimmermanns, den Elektroarbeiten, den Sanitärarbeiten, der Schreinerarbeiten, der Glasbauarbeiten etc. erfolgt in der Werkstatt. Sobald das Gebäude zusammengebaut und mit Strohballen ummantelt ist, müssen nur noch wenige Arbeiten vor Ort realisiert werden (Anschlüsse, Dach, Umgebung, Kollektoren etc.).

4.1.5 Prototypen Zero Carbon Village

Auf Basis der vorangegangenen Recherchen und Analysen wurden für die Fertigung von Prototypen-Bauteilen des Zero Carbon Village (vgl. Kapitel 3.1) verbesserte Abläufe geplant und getestet.

Die Prototypen-Bauteile werden zum Großteil werkseitig vorgefertigt. Wand- und Dach-/Deckenelemente aus Holz werden vom Projektpartner *Ökohaus Systembau* vorgefertigt und an der Baustelle mit Strohballen gedämmt, die direkt dorthin geliefert wurden. Die Bodenelemente können auch an der Baustelle gedämmt werden (mit Zellulose), sinnvoller und sicherer ist jedoch die werkseitige Dämmung. Fenster-/Türelemente werden ebenfalls vorgefertigt und an der Baustelle in die Wandkonstruktion eingebracht. Die Verglasung erfolgt vor Ort. Ein Funktionsmodul enthält die gesamte Haustechnik und wird von den Projektpartnern *Eudora* und *teamgmi* sowie einem Installateur vorgefertigt und zur Baustelle geliefert, wo es nur mehr installiert wird.

Das ZCV-Projektteam plant, koordiniert und überwacht die Fertigung, Anlieferung und Montage der Bauteile und der Strohballen.

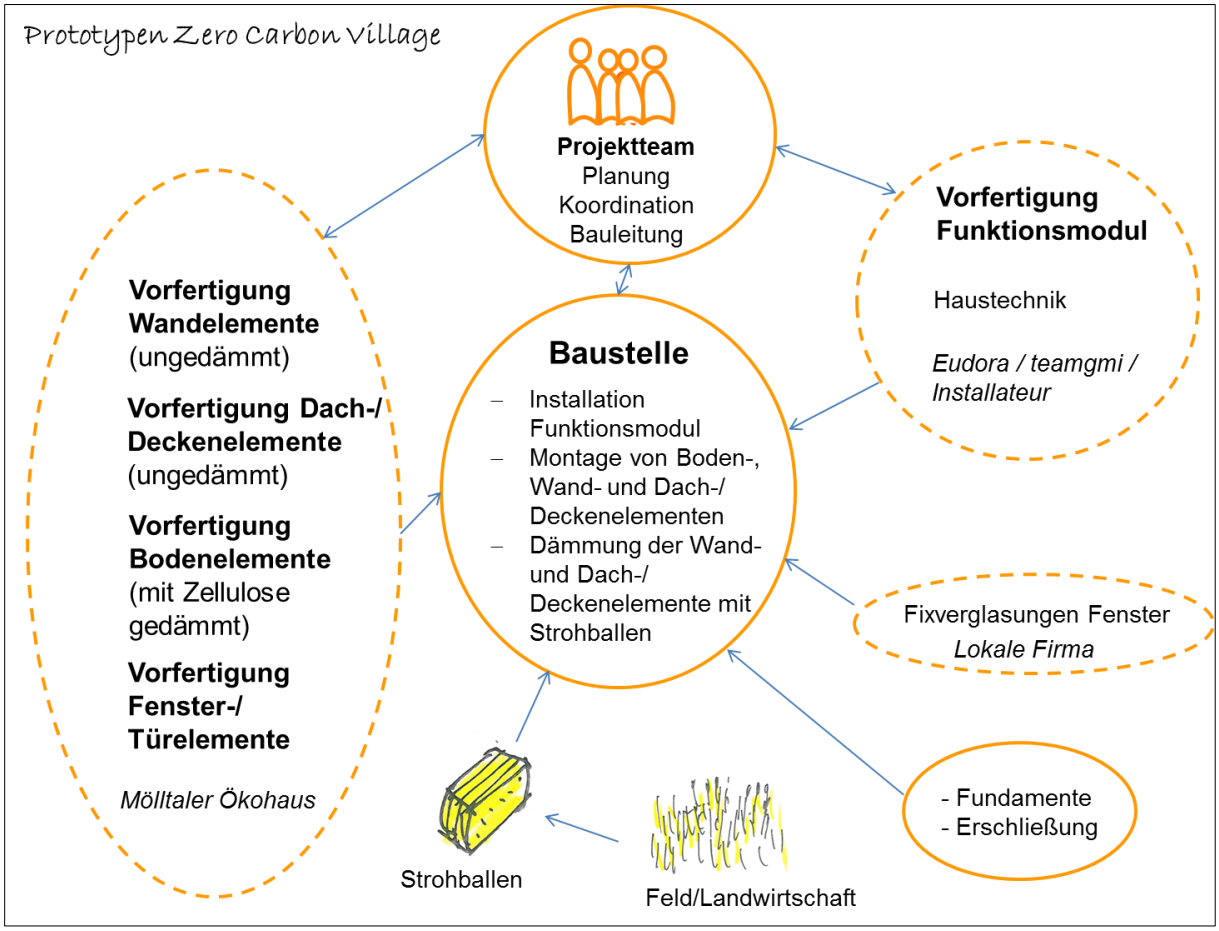


Abbildung 65: Fertigung der ZCV-Prototypen (Grafik: GrAT)

Alle Elemente sind modular geplant, sodass unterschiedliche Aufbauten möglich sind und auch der Umbau vereinfacht wird. Rückbau wird durch mechanische Verbindungen statt Verklebungen vereinfacht.

4.2 Vergleich der Fertigungsszenarien

Die beschriebenen Fertigungsszenarien (Vorfertigung und werkseitige Strohballendämmung von Außenwandelementen, vorgefertigte Zimmerelemente mit Strohummantelung vor Ort, Fertigung der ZCV-Prototypen) können in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit miteinander verglichen werden. Dazu wurden folgende Kriterien definiert:

- *Ökologische Nachhaltigkeit*: Verwendung nachwachsender, regionaler Rohstoffe; Transportaufwand; Recycling
- *Ökonomische Nachhaltigkeit*: Effizienz der (Vor-)Fertigung; regionale Wertschöpfung
- *Soziale Nachhaltigkeit*: Flexibilität (Umbau, verschiedene Grundrisse möglich)

(In Kapitel 3.2 wurden bereits die technischen Kriterien Passivhausstandard, hoher Vorfertigungsgrad und Rückbaubarkeit verglichen.)

Tabelle 3: Vergleich und Bewertung verschiedener Fertigungsszenarien in Hinblick auf ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit

	Vorfertigung und werkseitige Strohballendämmung von Außenwandelementen	**Vorgefertigte Zimmerelemente / Strohummantelung vor Ort**	**Fertigung der ZCV-Prototypen**
Verwendung nachwachsender, regionaler Rohstoffe	Holz, Stroh	Holz, Stroh, Zellulose; tw. nicht-nachwachsende Rohstoffe für Zwischenschichten	Holz, Stroh, Zellulose
Transportaufwand	Transport der Bauteilelemente per LKW Kran für Aufstellen der Elemente	Transport der gesamten Zimmerelemente per LKW und mit Polizeibegleitung (Schweiz) Kran für Zimmerelemente und Großstrohballen	Transport der vorgefertigten Bauteile und Bauteilelemente per LKW Kran für Aufstellen der Massivholzelemente
Recycling	Bauteilelemente tw. verklebt bzw. mit Bauschaum ausgeschäumt	Mechanische Verbindungen zw. Elementen, aber Demontage einzelner Elemente schwierig (Estrichboden)	Keine Verklebungen, nur mechanische Verbindungen
Effizienz der (Vor-)Fertigung	Vorfertigung von Wand- und Dachelementen inkl. Strohballendämmung und Fenstereinbau Aufbau an Baustelle: Montage der Wandelemente auf Bodenplatte;	Vorfertigung gesamter Zimmerelemente inkl. Haustechnik Aufbau an Baustelle: Montage der Zimmerelemente auf Bodenplatte; Strohballen-	Vorfertigung von Wand-, Boden-, Decken-, Fenster-/Türelementen; werkseitige Zelluloseeinblasung (Boden) Vorfertigung des Funktionsmoduls (Haustech-

	Montage der Dachelemente Haustechnikinstallation an Baustelle	dämmung an Baustelle	nik) Aufbau an Baustelle: Montage auf Pfahlfundamenten; Installation Funktionsmodul; Montage der Boden-, Wand-, Fenster-/Tür- und Dachelemente; Strohballendämmung von Wand und Dach
Regionale Wertschöpfung	Strohballenlieferung an Fertigungsunternehmen Lokale Installation der Haustechnik an Baustelle	Gemeinsame gewerkeübergreifende Vorfertigung Einbindung regionaler Firmen für Strohballenlieferung an Baustelle	Einbindung regionaler Firmen für Strohballenlieferung an Baustelle
Flexibilität (Umbau, verschiedene Grundrisse möglich)	Aufbau nach „Prinzip Lego“ → verschiedene Anordnungen möglich; Umbau durch tw. Verklebungen erschwert	Gleiche Zimmergrundrisse; Fertigung ganzer Zimmermodule; Anordnung durch Leitungsführung vorgegeben	Modularer Aufbau einzelner Elemente → verschiedene Anordnungen möglich; Umbau durch mechanische Verbindungen erleichtert

Ökologisch betrachtet, unterscheiden sich die Szenarien durch die Möglichkeit für Recycling – ausschließlich mechanische Verbindungen sind Verklebungen vorzuziehen, auch die Trennbarkeit einzelner Module ist vorteilhaft. Der Transportaufwand hängt einerseits von der Größe der Module bzw. Bauteile ab, aber auch vom Standort der Baustelle und der produzierenden sowie der liefernden Unternehmen und ist daher nicht pauschal zu beurteilen.

Aus ökonomischer Sicht ist eine effiziente (Vor-)Fertigung positiv zu bewerten. Die untersuchten Varianten unterscheiden sich in Bezug auf das Verhältnis zwischen der werkseitigen Vorfertigung und der Fertigung an der Baustelle. Die Vorfertigung ganzer Zimmerelemente hat Vorteile, da die Arbeit für Installationen und Bauteilmontage an der Baustelle reduziert wird, allerdings kann die Strohummantelung vor Ort einen erhöhten Aufwand bedeuten und ist auch witterungsabhängiger als die Strohdämmung im Werk. Die Vorfertigung von gedämmten Elementen ist dementsprechend sinnvoll, ebenso wie die Vorfertigung der Haustechnik. Die tatsächliche Effizienz der Vorfertigung und auch der Grad der regionalen Wertschöpfung hängt allerdings davon ab, welche Unternehmen am konkreten Projekt beteiligt sind, wo sie ihren Standort haben und wie gut sie technisch ausgestattet sind.

Der modulare Aufbau aus einzelnen miteinander kombinierbaren Fertigteilen ist ein Faktor für die soziale Nachhaltigkeit, da flexibel auf NutzerInnenwünsche reagiert werden kann. Die Vorfertigung ganzer Zimmerelemente ist in dieser Hinsicht schlechter zu bewerten, da hier der Gestaltungsspielraum eingeschränkt ist. Modulare Einzelelemente ohne Verklebungen sind flexibler kombinierbar und ermöglichen Änderungen im Aufbau.

4.3 Mass Customization und Konfigurationsmöglichkeiten

Die Vorfertigung von Gebäuden oder Gebäudeteilen spart Herstellern und Kunden zwar Kosten und Zeit, dafür werden aber oft die individuellen Gestaltungsmöglichkeiten reduziert. Eine Möglichkeit, gleichzeitig wirtschaftlich zu produzieren und individuelle Kundenwünsche zu berücksichtigen, bietet sich durch die sogenannte „Mass Customization“ (kundenindividuelle Massenfertigung). Das Prinzip der Modularisierung eignet sich, um aus mehreren standardisierten, kompatiblen Bauteilen und Komponenten ein individuelles Produkt zu fertigen. Die Zusammenstellung (Konfiguration) der Module kann gemeinsam mit den KundInnen offline oder online ablaufen.

Im Haus- und Wohnsektor findet die Konfiguration von Konstruktion, Ausstattung und Oberflächen offline derzeit entweder durch ArchitektInnen oder durch die KundInnen anhand von Musterhäusern, Schauräumen oder auf Messen statt. Schauräume bieten Informationen für Oberflächen, Fenster, Sanitäreinrichtungen, Dachdecker, Fliesen- und Bodenleger. Baumärkte bieten sämtliche Baustoffe und Komponenten zur Ansicht.

Hausplanungssoftware ist ebenfalls bereits verbreitet, z. B. die 3D-Modellierungssoftware Sketchup, die auch für EinsteigerInnen gedacht ist und mit der sich dreidimensionale Modelle und Visualisierungen von Gebäuden, Räumen, Objekten usw. erstellen lassen.

Planungstools für die Wohnungseinrichtung sind oft auch schon online verfügbar und ermöglichen es den KundInnen, ihre Vorstellungen grafisch umzusetzen, bevor sie die notwendigen Elemente bestellen. Beispielsweise bietet IKEA online verschiedene Tools an wie einen Küchenplaner oder die Zusammenstellung von Wandregalen, Schlafzimmereinrichtung etc. aus Einzelelementen.[8]

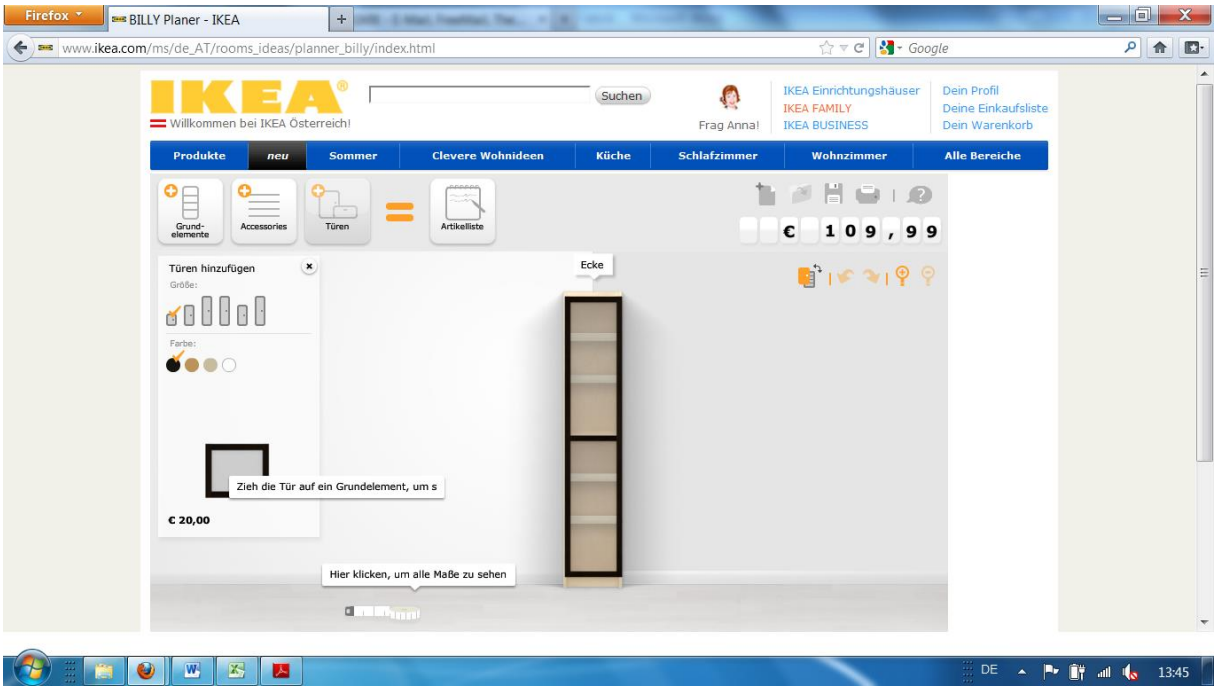


Abbildung 66: Online-Konfigurationstool für die Zusammenstellung von Wandregalen (http://www.ikea.com/ms/de_AT/rooms_ideas/planner_billy/index.html)

[8] http://www.ikea.com/ms/de_AT/rooms_ideas/splashplanners.html (13.08.2012)

Ein aktueller Versuch eines Fensterherstellers (Mitglied in der IG Passivhaus Ost) reagiert auf die Nachfrage und den Mitbewerb. Er betreibt seit Anfang 2012 einen Webdienst, um Fenster direkt zu vertreiben.[9] Im Online-Konfigurator kann man Typ, Abmessungen, Farbe, Material usw. auswählen, bevor man die Fenster ebenfalls online bestellt.

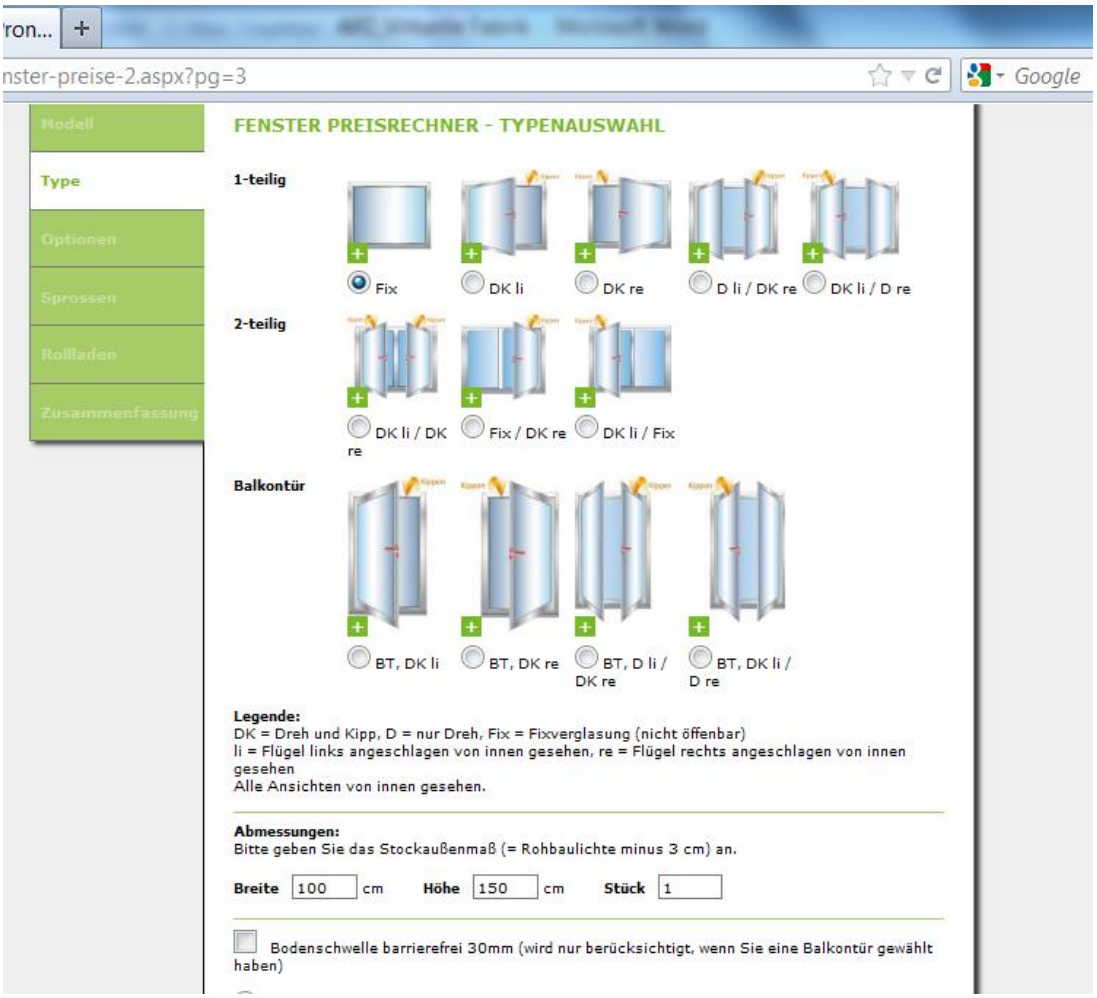


Abbildung 67: Online-Konfigurationstool für die Bestellung von Fenstern (http://www.fenster-pronto.at/de/pages/fenster-preise-2.aspx?pg=3)

Die genannten Beispiele sind erweiterte Online-Bestellungstools, die für die KundInnen zusätzlich attraktiv sind, weil sie das Produkt zum Teil selbst gestalten können und das Ergebnis gleich visualisiert vor sich sehen. Für die Firmen ergibt sich ein weiterer Vorteil daraus, dass sie die Präferenzen der KundInnen besser kennenlernen, weil sie sehen, wie diese ihre Produkte am liebsten kombinieren.

Für eine Virtuelle Fabrik könnte ein Online-Tool zugleich eine Schnittstelle zwischen den beteiligten Firmen sein, indem das gewünschte Produkt für alle sichtbar gespeichert und eventuell mit zusätzlichen Informationen verknüpft wird (Zeitplan, Kosten etc.).

Aufgrund der modularen Fertigung der Bauteile ergeben sich für Gebäude nach Art des Zero Carbon Village verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, wobei bestimmte Komponenten in Größe und Anordnung fix und andere variabel sind. Die variablen Teile könnten von den KundInnen (BauherrInnen) ausgewählt und kombiniert werden, wobei es sinnvoll erscheint,

[9] http://www.fenster-pronto.at/de/pages/fenster-kaufen.aspx (13.08.2012)

dass das planende Unternehmen geeignete Kombinationen vorschlägt oder direkt mit den KundInnen erarbeitet.

4.4 Umsetzungspotenzial der Virtuellen Fabrik für das Zero Carbon Village

In den vorangegangen Abschnitten wurden mögliche logistische Fertigungsszenarien verglichen. Um die besten Varianten auch in der Zielregion des Zero Carbon Village (Traismauer/NÖ) umsetzen zu können, ist eine Beteiligung regionaler Betriebe und Personen notwendig. Stakeholder aus Baupraxis und Forschung wurden daher eingeladen, im August 2011 an einem Workshop zur Virtuellen Fabrik mitzuwirken.

Der Workshop, bei dem rund 20 Stakeholder aus verschiedenen Bereichen der Bauwirtschaft anwesend waren, startete mit Impulsvorträgen der Projektpartner GrAT, IG Passivhaus und ÖGUT zum Projekt Zero Carbon Village, insbesondere zu den Zielsetzungen der industriellen Vorfertigung, sowie zu anderen aktuellen Projekten, die sich mit dem Thema Vorfertigung bei der Sanierung auseinandersetzen, und zu alltäglichen Problemen in der Baustellenpraxis.

Die Workshop-TeilnehmerInnen setzten sich in zwei Gruppen mit dem Ist-Zustand in den beiden Systemen „Individuelle Herstellung“ und „Fertighausherstellung“ auseinander. Dieser wurde mithilfe von System-Maps dargestellt, die zur Visualisierung der allgemeinen Systemstrukturen und Interaktionen zwischen Hauptakteuren dienen. Zielsetzung war das Herausfiltern von Problemen in den unterschiedlichen Phasen der Planung, Fertigung und Realisierung.

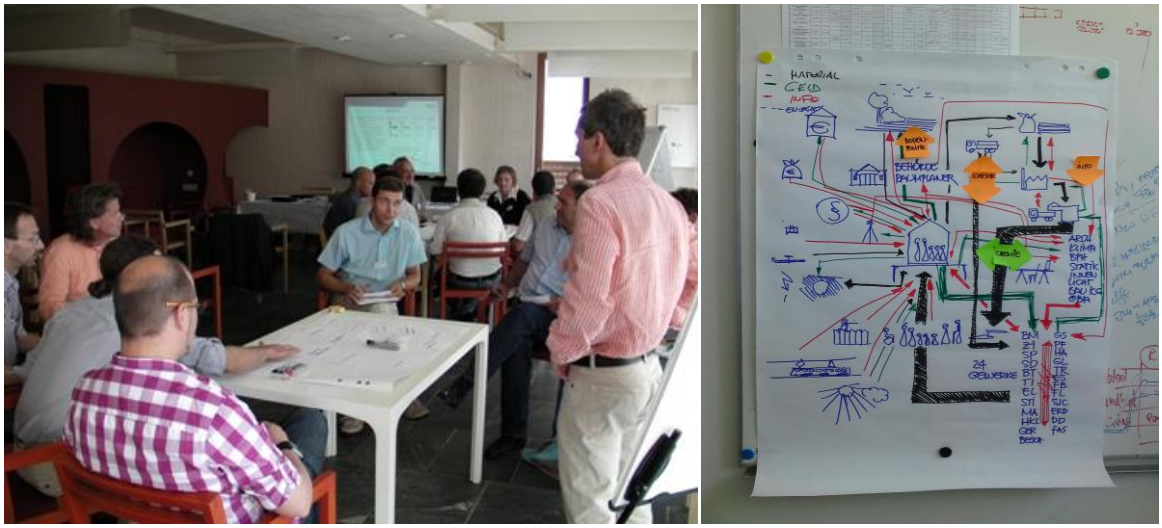


Abbildung 68: Workshop im August 2011 mit Stakeholdern aus Baupraxis und Forschung

Mit einer Systemanalyse wurden positive und negative Aspekte der beiden Systeme herausgearbeitet, um Möglichkeiten, Chancen, Risiken und Grenzen industrieller Vorfertigung zu formulieren.

Als wichtigste Voraussetzung für funktionierende Abläufe im Bausektor wurde die Kommunikation zwischen den handelnden Personen identifiziert, die sich jedoch in der Praxis oft problematisch darstellt. Schwächen des Systems sind der enorme logistische Aufwand, oftmals mangelnde Bodenpolitik der Behörden sowie ein Fehlen übergeordneter Planungsinstrumente. Darüber hinaus besteht nicht nur ein mangelnder Informationsaustausch zwischen den

Gewerken auf der Baustelle selbst, sondern ebenso von der Industrie über den Handel bis zu den PlanerInnen.
Vertrauen und gute Beratung werden in der individuellen Herstellung durch das Verhältnis zwischen AuftraggeberInnen und FachplanerInnen geschaffen, bei der Fertigteilherstellung ist der Verkäufer gleichzeitig auch Koordinator und Ansprechpartner für die KundInnen.
Als wichtige Schwerpunktthemen, die es zu optimieren gilt, wurden folgende definiert:

- Thermische Qualität
- Baumaterialien
- Zero Carbon – aktive Energieversorgung
- Logistik

Es bestehen deutliche Logistikvorteile in der Fertigteilindustrie, da sehr viele Abläufe standardisiert sind, wohingegen man bei der thermischen Qualität und den Baumaterialien an Flexibilität verliert. Eine Chance würde darin liegen, die Vorteile der individuellen Herstellung mit den Vorteilen der Fertigteilherstellung zu kombinieren.
Die Industrie ist jedoch sehr unflexibel und will möglichst wenig an den vorhandenen Abläufen ändern. Zumindest die Geometrie solle unverändert bleiben, da sich mit dieser sonst alles ändere. Eine Überlegung wäre, die Füllung individuell anzupassen. Dadurch hätte man nur ein logistisches Problem, aber keines bei der Zulassung. Fertigteilhersteller müssen bei jeder gravierenden Änderung eine neue Zulassung beantragen. Diese limitierte Flexibilität ist mehr als hinderlich und innovationshemmend.

Lösungsansätze für Thermische Qualität:

- Heizen und Kühlen kann architektonisch gelöst werden; neue Energieversorgungskonzepte werden/sollen der Versorgung von diverser Haustechnik dienen.
- Thermische Qualität definiert sich aus Speicherfähigkeit und thermischer Optimierung. Eine gesunde Luft ist ebenfalls ein entscheidender Indikator für die thermische Qualität.

Lösungsansätze für Baumaterialien:

- Gleichwertigkeit von Komponenten muss behördlich überprüfbar sein; es gibt geprüfte Wandaufbauten aus Holz, die jedoch niederösterreichische Fertigteilhaushersteller nicht verwenden dürfen).
- Nawaros: Gegenwärtig sind Förderungen für nachwachsende Rohstoffe als Baustoffe im Wohnbau zu gering; (insgesamt 4 Mio. €). Der Einreichprozess ist ebenfalls komplex und langwierig.

Lösungsansätze für Energieversorgung:

- Aktive Energieversorgung: Am besten wäre eine optimierte Gebäudehülle, da sich so Erleichterungen ergeben (Stichwort: reduzierter Energieverbrauch), weniger Elemente wären auch für die Fertigteilindustrie von Vorteil (Standardisierungen).
- Regelmäßig anfallende Servicekosten, die auch im energieautonomen Haus anfallen, müssen reduziert werden.

Lösungsansätze für Logistik:

- Ein sinnvoller Schritt wäre die Vernetzung von einem Logistikcluster und der Bauwirtschaft.
- Aufteilung von zentral produzierbaren Elementen und möglichen dezentral bereitgestellten Teilen (von kleineren Gewerken mit entsprechendem Qualitätsmanagement).
- Zulassungen sollten nicht nur an technische Parameter, sondern auch an Produktionsorte gebunden werden.
- Sinnhaftigkeit von Substellen (lt. IBO wird Fertigbeton ab einer Entfernung von 14 km zum ökologischen Problem).

Zusätzliche Ergebnisse des Workshops waren, dass die Förderung von Demoprojekten wünschenswert ist; anhand dieser könnten Bauteile entstehen, die man dann am Markt einführen könnte. Auch mehr Kooperationen bzw. Bildung von Innovationsgemeinschaften wurden als Wunsch geäußert, da Firmen häufig nicht über die Ressourcen verfügen, um an Förderungen zu gelangen.

4.4.1 Möglichkeit eines Kooperationsnetzwerks in der Region Traismauer/NÖ

Im Gegensatz zur Fertighausindustrie ist das Funktionieren von Kooperationsnetzwerken nicht von technischen Lösungen und Produkten abhängig, sondern vom persönlichen Einsatz der handelnden Personen.
Die Erkenntnis aus der Mitgliederbefragung der IG Passivhaus (durchgeführt im Laufe des Jahres 2011) zeigt, dass grundsätzliche Bereitschaft zur Zusammenarbeit bei neuen Kooperationsmodellen besteht, wenn

- Entwicklungsarbeit für den Aufbau eines funktionierenden Organisationsmodells nicht gefordert wird
- keine ehrenamtliche Leistungen gefragt werden
- der Nutzen für den eigenen Betrieb klar ersichtlich ist und durch Erfahrungen untermauert werden kann
- die Tätigkeit keinen zusätzlichen Verwaltungsaufwand mit sich bringt, d. h. ausgelagert werden kann
- die Verhandlung mit Endkunde/Klient/Auftraggeberin/Bauherrin nicht in die Kompetenz des Einzelbetriebs fällt

Die Vorteile für eine Subfirma, an einer Kooperation teilzunehmen, müssen klar ersichtlich gemacht werden. Erfahrungen über Aufbau und Unterstützung bringt der *BEUC – Bau-, Energie- und Umweltcluster* der *ECO+ Niederösterreich* ein. Es wird empfohlen, bei einem Demonstrationsprojekt in Niederösterreich die Strukturen und bestehende Cluster zu nützen.
Mitglieder des BEUC teilen die Ziele dieses Projektes: „Ziel des Clusters ist es, die vorhandenen heimischen Kompetenzen zum Thema ‚Nachhaltiges Bauen und Wohnen' zu vernetzen. Im Cluster haben alle zukunftsträchtigen und ökologischen Werkstoffe und Systeme Platz."
(http://www.ecoplus.at/de/ecoplus/cluster-niederoesterreich/bau-energie-umwelt/ueber-uns)
Abbildung 69 zeigt die Mitgliedsbetriebe des BEUC NÖ mit Stand Ende 2011.

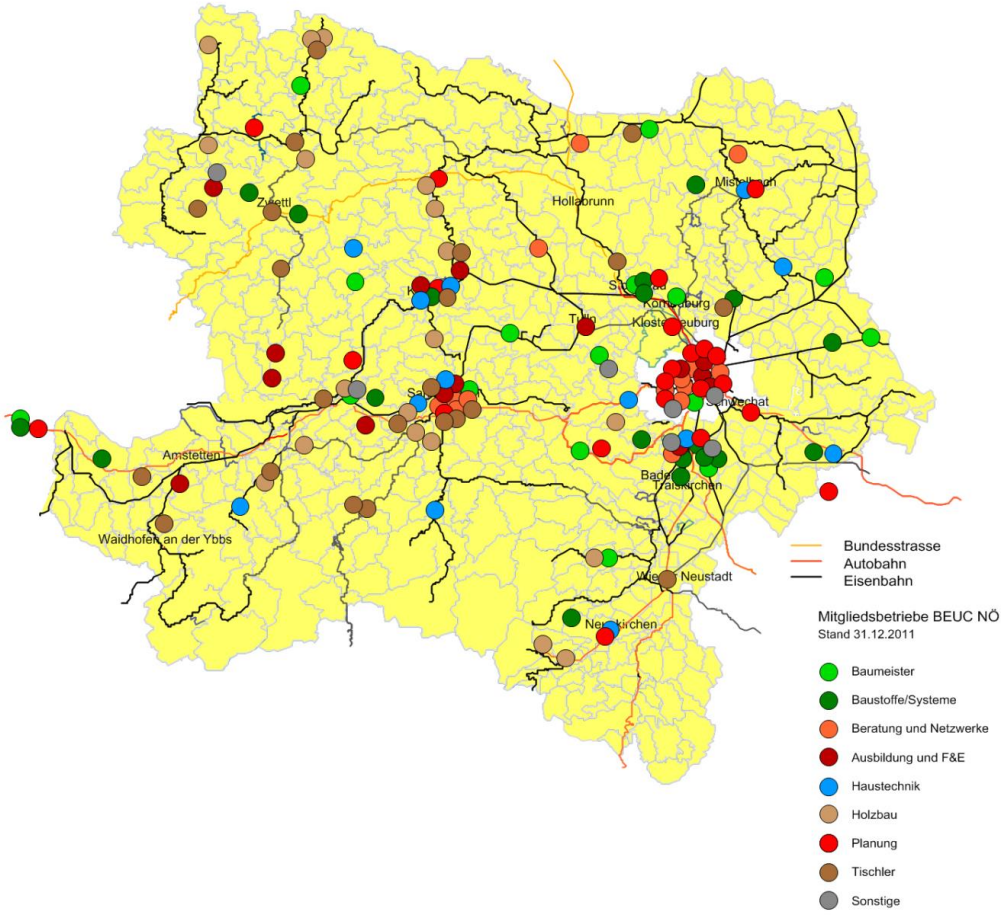


Abbildung 69: Mitgliedsbetriebe des BEUC NÖ, Stand: Ende 2011

Gespräche mit möglichen Kooperationspartnern wurden am Rande des Stakeholder-Workshops im August 2011 geführt. Die Schwierigkeit liegt darin, Innovationsfreudigkeit und unternehmerischen Geist zu wecken, um eingefahrene Strukturen und Abläufe zu überwinden. Entscheidend hierfür ist die Identifikation von Multiplikatoren. Technische Probleme scheinen dem nachgelagert zu sein.

Fehlende Qualifikationen in der Region wurden seit einer breiteren Anwendung der Passivhaustechnologie (beschleunigt durch die Landeswohnbauförderungen) und Weiterbildung (Handwerkerkurse der IG Passivhaus) fast flächendeckend wettgemacht. Durch relativ günstige Transportkosten sind die Aktionsradien der Akteure erweitert (z. B. liefert eine Zimmereifirma aus Lienz/Matrei regelmäßig in den Wiener Raum).

Die Problematik der branchenübergreifenden Tätigkeit – ein Elektriker ist nicht befugt, ein Fenster fachgerecht einzubauen – wird durch Bedingungen wie Zunftwesen und Normierung untermauert. Solche strukturellen Hindernisse können nur politisch geändert werden.

4.4.2 Zentrale Koordinationsstelle – Modell der Genossenschaft

Zur effizienten Umsetzung des Zero Carbon Village wird eine professionelle Drehscheibe zur Koordination der einzelnen Aufgaben benötigt. Die traditionelle Rolle des Architekten, der als Generalplaner die PlanerInnen und KonsulentInnen koordiniert und auf der Baustelle die Ausführung überwacht, endet mit den Agenden der Übergabe an den Auftraggeber (Quelle: Leistungsbild Architekt, Generalplaner, Kammer für Architekten und Ingenieurkonsulenten,

Stand Apr. 2004). Die Trennung zwischen Planung und Ausführung verhindert Zielkonflikte und garantiert die Qualität der Ausführung.
Als Generalunternehmer kommen nicht alle Ausführenden infrage – die Agenden der Bauführung im Sinne der Landesbauordnungen (z. B. §25 NÖ Bauordnung 1996) werden üblicherweise von Baumeistern oder Zimmerern wahrgenommen. Vom Projektpartner IG Passivhaus wird daher empfohlen, z.B. ein Netzwerk wie das der *Austria Bau* (siehe unten) als mögliche Koordinationsschaltstelle für das Projekt vorzubereiten. Die Wirtschaftsform der Genossenschaft scheint dafür auch bestens geeignet zu sein. Eine Genossenschaft kann über die reine Einkaufsgemeinschaft hinaus als Drehscheibe, für die Kundenbetreuung, Weiterbildung und vor allem als Marketinginstrument fungieren.
Die Komponentenentwicklung für Haustechnische Anlagen und die Industrialisierung speziell von Elektroinstallationen kann ausschließlich durch die Industrie erfolgen. Die *„Expert Gruppe“* (siehe unten) kann hier als Vermittler fungieren, der gute Kontakte zur Industrie hat. Für die Entwicklung und Vorfertigung von Elektrokomponenten (wie beim Kabelbaum im PKW) könnten zum Beispiel Firmen gewonnen werden, die nicht im Bereich Installation vor Ort tätig sind. So werden Interessens- und Zielkonflikte minimiert.

4.4.3 Analyse bestehender (Einkaufs-)Genossenschaften

Als Beispiele für österreichische (Einkaufs-)Genossenschaften wurden die *Austria Bau (NÖ/Wien)* sowie die *Expert Gruppe* mittels Interviews und zusätzlichen Recherchen analysiert und auf ihr Potenzial für das Zero Carbon Village untersucht. Beide vorgeschlagenen Genossenschaften sind in Niederösterreich etabliert, haben einen guten Ruf und sind in der nötigen Dichte am Markt präsent.
Die *Austria Bau* ist eine Organisation, die aus drei eigenständigen Kooperationszentralen (NÖ/Wien; OÖ; Tirol/Vorarlberg) besteht und als Mitglieder mehr als 100 mittelständische Bauunternehmen mit insgesamt mehr als 6.000 DienstnehmerInnen hat. Der Bereich NÖ/Wien besteht aus 42 Mitgliedsbetrieben mit mehr als 2.000 MitarbeiterInnen.
Im Vergleich zu anderen Unternehmen aus dem Bausektor haben die Mitgliederbetriebe durchschnittlich mehr MitarbeiterInnen und sind damit auch wirtschaftlich leistungsfähiger. Das zeigen auch die geringen Insolvenzraten.
Die Hauptgruppe der Unternehmen (ca. 75 % der Mitglieder) beschäftigt sich mit Wohnbau und Sanierung. Entwicklungen laufen in Richtung Passivhaus und Prozessabwicklungen.
Schwerpunkte der Aktivitäten sind: gemeinsamer Einkauf, Weiterbildung, Vernetzung bis hin zur Finanzierung und Dienstleistung von Betriebsmitteln, Organisation von Messeauftritten für die Mitglieder, eine Personal- und Gerätebörse sowie das abau-Journal, das 2x jährlich Berichte über Mitgliedsbetriebe, Entwicklungen und Trends bringt und als Marketinginstrument dient.
Alle Verbindlichkeiten zu den Lieferanten werden durch hinterlegte Bankgarantien der Mitglieder abgesichert, wodurch kein Zahlungsausfallrisiko besteht. Der Einkauf wird über die Genossenschaft fakturiert, welche die Rechnungen laut Zahlungsplan mit einem Abzug von 5,2 % bezahlt. Die Genossenschaft bringt zusätzlich Verwaltungseinsparungen durch ein standardisiertes, zentrales Bestellwesen.

Als weiteres Beispiel für eine Einkaufsgenossenschaft wurde die „*Expert Gruppe*“ genauer analysiert. *Expert* ist eine weltweit organisierte Genossenschaft für den Elektrofachhandel, zu der mittlerweile über 7.400 Fachgeschäfte gehören. Begonnen hat das Netzwerk als reine Einkaufsgemeinschaft. In der Zwischenzeit wird an Konzepten für Qualitätssicherung und -kontrolle gearbeitet, ein internationales Benchmarking wird für alle Mitglieder im Jahr 2012 weltweit eingeführt.

Im Handelsbereich sinken die Margen laufend, als Einzelhändler vor allem am Land ist man üblicherweise den Marktgesetzen ausgeliefert und wird zum Spielball der Industrie. Der wirtschaftliche Druck steigt bei KMU im Preiskampf. Als Mitglied der Einkaufsgenossenschaft hat ein Betrieb Vorteile bei der Beschaffung von Handelsware und bei der Information über Trends und Veränderungen des Marktes. Zweimal pro Jahr werden zur Fortbildung Exkursionen und anschließende Mitgliederversammlungen durchgeführt, es gibt Weiterbildungsmöglichkeiten. Regionale Aktivitäten dienen zum Lösen lokaler Probleme oder regionaler Impulse. Marketing und Werbung werden ebenfalls zentral unterstützt, den Mitgliedern wird Unternehmensberatung angeboten. Mitgliedsbeiträge sind minimal und werden mittels Warengutscheinen gutgeschrieben.

Um im Elektrofachhandel in der Premiumklasse Waren einkaufen zu können, ist ein Mindestumsatz erforderlich. Dafür schließen sich einzelne Betriebe zu größeren Einkaufsgemeinschaften zusammen, expandieren oder bedienen sich der Genossenschaft.

Für den Mitgliedsbetrieb gibt es folgende Möglichkeiten, Waren zu beziehen:

- Direkter Einkauf durch den Einzelhändler. Vorteil: Flexibilität, vor allem wenn kein Vertragspartner der Genossenschaft
- Direkter Einkauf durch die Genossenschaft, Lagerhaltung in Wels, Kommissionskauf durch den Mitgliedsbetrieb. Vorteil: guter Einkaufspreis, kein Lager für Einzelhändler
- Streckengeschäft – der Händler kauft selbst oder über den zentralen Einkauf, Ware wird direkt zum Mitglied geliefert, Haftungsübernahme durch die Genossenschaft. Vorteil: Bonuszahlungsvereinbarung
- Provisioniertes Geschäft über Kontingente, die in Rahmenvereinbarungen mit Großhändlern oder der Industrie für z. B. fünf Jahre ausverhandelt werden

4.4.4 Schnittstellen zum Zero Carbon Village

Eine mögliche Zusammenarbeit mit der IG Passivhaus in Bezug auf das Zero Carbon Village wurde vonseiten der *Expert Gruppe* ausdrücklich angesprochen. Hinsichtlich der Effizienzsteigerung für die Elektrobetriebe und den Baustellenablauf werden große Potenziale vermutet. Es besteht Interesse, einen stärkeren Fokus auf Vorfertigung im Wohnungsbau und Effizienzsteigerung der Endgeräte zu legen. In den nächsten Jahren wird auch ein Schwerpunkt auf Zertifizierung und Qualitätssicherung als Alleinstellungsmerkmal gegenüber dem Mitbewerb erarbeitet werden – Aspekte, die auch im Zero Carbon Village abgedeckt werden sollen.

5 Energieversorgung des Zero Carbon Village

Bei dem Konzept, das für das Zero Carbon Village weiterentwickelt wurde, wird die thermische Energie direkt ohne Umwandlungsverluste für die Energiedienstleistungen bereitgestellt (siehe Kapitel 5.2 für ein Funktionsschema des Systems).

Für die Auslegung des Systems wurden zunächst Nutzungsszenarien verglichen (Kapitel 5.3) sowie Systemvarianten und Netzdesign entwickelt (Kapitel 5.4–5.5). Geeignete Technologien und Komponenten wurden ausgewählt und getestet (Kapitel 5.6) und in die Energiebilanz miteinbezogen, die für den Standort Traismauer erstellt wurde (Kapitel 5.7). Lösungen für die Regelung des Systems wurden verglichen (Kapitel 5.8). Auf Verbraucherseite wurden Endgeräte, die thermisch betrieben werden können, ausgewählt (Kapitel 5.9) und im Rahmen eines Prototyps in Bezug auf Anschlusslösungen und Leitungsführung untersucht (Kapitel 5.10).

5.1 Ausgangslage – Energieverbrauch im Gebäude

Durch die Etablierung und Weiterentwicklung der Passivhausbauweise in Kombination mit neuesten Erkenntnissen aus der energieeffizienten Solararchitektur wurde es möglich, Gebäude mit drastisch reduziertem Heiz- und Kühlenergiebedarf zu verwirklichen.

Hierbei kann als Referenz das 2005 fertiggestellte „S-HOUSE“ in Böheimkirchen genannt werden. Dieses Faktor-10-Gebäude basiert auf einer extrem energieeffizienten Konstruktion, welche fast ausschließlich auf nachwachsenden Rohstoffen wie Stroh und Holz beruht.

Diese bautechnische Basis ermöglicht zukünftige Innovationen bei der Energieversorgung in Richtung Energieautonomie von Gebäuden und Siedlungen, da der Hauptanteil des Gesamtenergieverbrauches eines Gebäudes nicht länger im Bereich von Raumheizung und Raumkühlung zu finden ist.

Wenn man die aktuelle Situation der Energieversorgung betrachtet, wird ersichtlich, dass die verwendeten Technologien nicht primär auf eine bestmögliche Energienutzung abzielen, sondern durch marktwirtschaftliche Faktoren beeinflusst werden. Auch die Forschung im Bereich erneuerbare Energien fokussiert zurzeit darauf, die Effizienz und Rentabilität der Stromproduktion zu verbessern. Elektrizität ist zwar eine einfach handzuhabende Energieform, jedoch sollte auch immer die geforderte Energiedienstleistung bedacht werden. Zu einem großen Anteil wird Elektrizität unter Umwandlungsverlusten für thermische Anwendungen verwendet. Ein hohes Effizienzpotenzial liegt daher darin, Umwandlungsverluste zu vermeiden und thermische Energie direkt für thermische Anwendungen zu nutzen.

In der nachfolgenden Tabelle sind Stromverbrauch und Reduktionsmöglichkeiten der zehn größten Stromverbraucher in österreichischen Haushalten aufgeführt. Als Ausgangsbasis für die Bestimmung der Stromeinsparungspotenziale wurden Daten der Statistik Austria aus dem Jahr 2008 herangezogen (Statistik Austria 2008). Diese Daten beziehen sich auf die Untersuchung von 254 Haushalten. In die Hochrechnung dieser Daten sind die Repräsentativitätskriterien wie Haushaltsgröße, Ein- und Zweifamilienhaus gegenüber verdichtetem Wohnbau bereits mit eingerechnet. Auf Grundlage dieser Werte wurde jeweils ein Median für die zehn größten Stromverbraucher im Haushalt berechnet. Vergleichend dazu wird dargestellt, wie hoch der elektrische Energiebedarf nach Substitution durch eine mögliche thermi-

sche Nutzenergie ist (nach aktuellem Recherchestand). Siehe dazu auch Kapitel 5.9 „Reduktion des Stromverbrauchs der Endgeräte im Haushalt“.

Tabelle 4: Stromverbrauch und Reduktionsmöglichkeiten im Haushalt (GrAT, 2012)

Stromverbraucher im Haushalt	Median	Variante ZCV	Reduktion auf
	kWh	kWh	%
Warmwasserbereitung	1.612	0	0%
Umwälzpumpe	347	347	100%
Gefriergeräte	329	0	0%
Beleuchtung	298	149	50%
Herd, Backrohr	291	29	10%
Kühlgeräte	263	0	0%
Geschirrspüler	222	50	22%
Heizung inklusive Hilfsenergie	220	10[10]	5%
Wäschetrockner	178	50	28%
Waschmaschine	175	40	23%
Summe	**3934 kWh**	**675 kWh**	**17%**

Nach einer aktuellen Studie der Statistik Austria ist in österreichischen Haushalten trotz neuer energiesparender Produkte der Stromverbrauch seit 2003 um ca. 3 % gestiegen (Der Standard 2011). Vor allem im Bereich Kochen und Backen sei ein deutlicher Anstieg von 10 % zu beobachten gewesen. Durch diesen Trend würde sich die Einsparung, die sich aus der Substitution elektrischer Energie durch thermische Nutzenergie ergibt, deutlich vergrößern.
Einzig Geräte aus den Bereichen der Beleuchtung und der Kommunikationsmedien sowie elektrische Motoren und Pumpen können nur mit elektrischer Energie betrieben werden, hier kann jedoch der Verbrauch durch die Verwendung von energieeffizienten Topprodukten reduziert werden. Wichtig ist, dass auch die Geräte aus dem Bereich der Kommunikationsmedien an den eigentlichen Bedarf angepasst werden, denn aktuellen Studien zufolge werden im Haushalt immer größere und leistungsstärkere Produkte verwendet, weshalb trotz energieeffizienterer Produkte der Gesamtstromverbrauch für diese Geräte konstant ist.
Die Planung von energieautonomen Wohngebäuden und Siedlungen, basierend auf dem Konzept des energieautonomen Gebäudes, ist ein neuer Ansatz für eine nachhaltige Energieversorgung. Für ihre Entwicklung müssen nicht nur einzelne Komponenten ausgewählt und weiterentwickelt werden, sondern diese müssen auch mit einem entsprechenden Speicher- und Leitungssystem miteinander vernetzt werden.

5.2 Funktionsschema der Energieversorgung im Zero Carbon Village

Grundlage für die Energieversorgung des Zero Carbon Village ist das Konzept des HdZ-Projekts „Energieautarke Gebäude“,[11] bei welchem die größtmögliche Abdeckung der Energiedienstleistungen durch thermische Energie im Vordergrund steht. Diese soll primär durch die Nutzung von Solarenergie abgedeckt werden. Für eine kontinuierliche thermische Versorgung soll sekundär in Zeiten mangelnder Solarerträge ein auf Biomasse basierendes Ba-

[10] Beispiel: Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (nicht allgemein gültig)
[11] http://www.hausderzukunft.at/results.html/id4708

ckup-System zur Anwendung kommen. Die Rohstoffe für dessen Betrieb können nach lokaler Verfügbarkeit variieren.

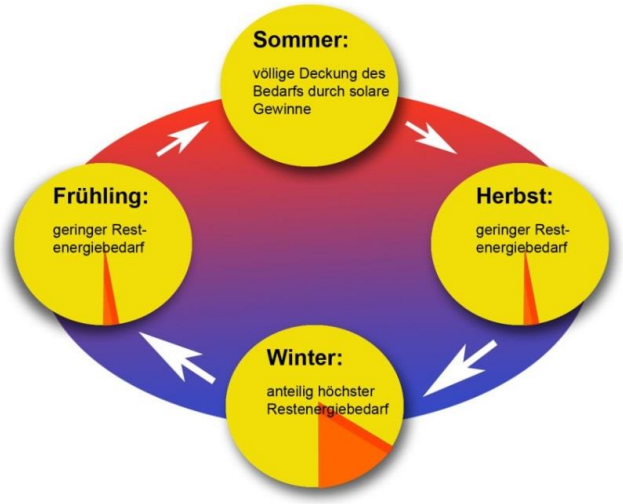


Abbildung 70: Jahreszeitliche Anteile von Solarenergie und Biomasse, Optimalfall

Bei dem Konzept, das für das Zero Carbon Village weiterentwickelt wurde, handelt es sich um einen Thermokreislauf, der alle thermischen Verbraucher, die eine höhere Temperatur benötigen, wie beispielsweise Backofen und Herd, mit der benötigten Wärmeenergie versorgt. Nachfolgend ist das Funktionsschema des Thermoölkreislaufes dargestellt:

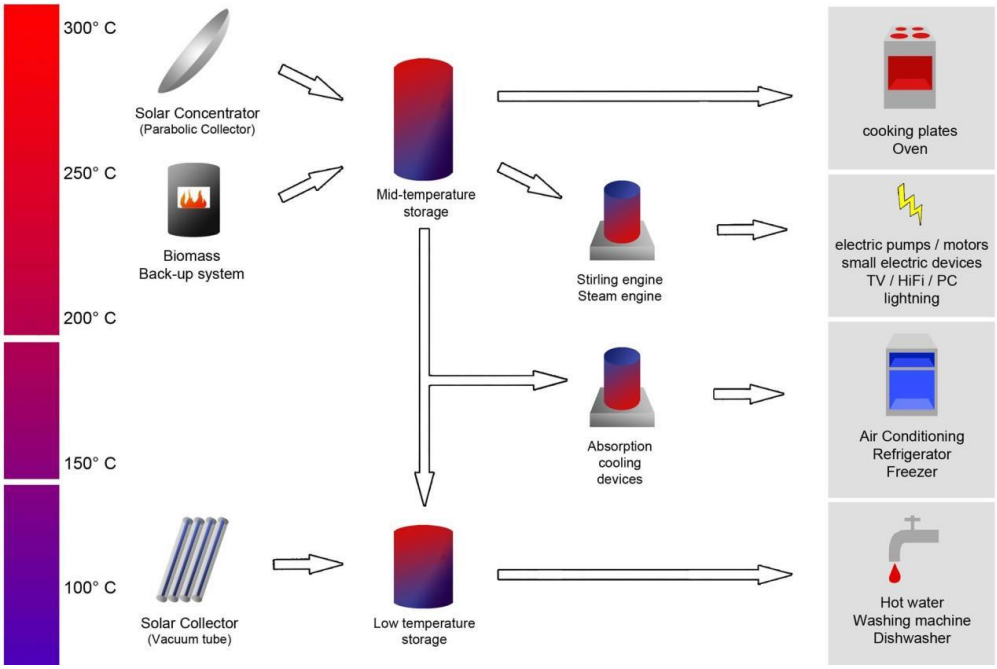


Abbildung 71: Gesamtsystem der Energieversorgung auf Basis von thermischer Energie („Wireless House“) – Überblick über die Zusammenhänge der verschiedenen Komponenten nach Temperaturniveaus und thermischem und elektrischem Betrieb

Die thermische Energie wird direkt ohne Umwandlungsverluste für die Energiedienstleistungen bereitgestellt. Ein wichtiger Punkt dabei ist die konsequente Substitution von elektrischem Strom durch thermische Energie, was eine drastische Reduzierung des Stromverbrauches zur Folge hat. Denn die größten Stromverbraucher im Haushalt brauchen nicht

ausschließlich Strom, sondern sind eigentlich thermische Anwendungen, die Kälte oder Wärme benötigen. Diese sind jeweils einem bestimmten Temperaturniveau zuzuordnen: Thermische Energieströme unter 100 °C befinden sich im Niedertemperaturbereich, und thermische Energieströme über 100 °C befinden sich im Mitteltemperaturbereich.

1. ***Warmwasser mit fast 1/3 des Gesamtenergiebedarfes***
   ** Temperaturniveau ca. 40 °C → Niedertemperaturspeicher*
2. ***Waschmaschine, Wäschetrockner, Bügeleisen***
   ** Temperaturniveau ca. 60 °C → Niedertemperaturspeicher*
   ** Restenergiebedarf elektrisch (Motoren, Pumpen)*
3. ***Kühl- und Gefrierschrank***[12]
   ** Temperaturniveau ca. 70-80 °C → Niedertemperaturspeicher*
4. ***Elektrischer Küchenherd (Backrohr und Herdplatten)***
   ** Temperaturniveau ca. 180 °C → Mitteltemperaturspeicher*
5. ***Licht, Computer, Fernsehen etc.***
   ** elektrischer Energiebedarf*

Die benötigte Temperatur liegt überwiegend im Niedertemperaturbereich bis 100 °C. Ein großes Potenzial für die Substitution von elektrischer durch thermische Energie ist aber auch beim Backen und Kochen zu finden. Bei der Nahrungsmittelzubereitung (Braten/Grillen) sind Oberflächentemperaturen von bis zu 180 °C notwendig. Für die Bereitstellung sind dementsprechend aufgrund der anfallenden Leitungswärmeverluste etc. höhere Temperaturen von ca. 220 °C erforderlich.
Der verbleibende Bedarf an elektrischer Energie (z. B. für Beleuchtung) kann in diesem System z.B. in Kombination mit einem Stirlingmotor oder einem Organic Rankine Cycle ebenfalls aus der thermischen Energie umgewandelt werden.

5.3 Vergleich von Nutzungspfaden

Im Nachfolgenden erfolgt eine Gegenüberstellung des ZCV-Szenarios „Solarwärme/ORC“ mit dem konventionellen Szenario „Solarstrom/PV“ in Form von grafisch dargestellten Nutzungspfaden. Diese verdeutlichen die Unterschiede der Szenarien in Bezug auf die Nutzungsform der Energie von der Quelle bis zur Dienstleistung in Abhängigkeit von der Wahl der Komponenten.

5.3.1 ZCV-Szenario „Solarwärme/ORC“

Dieses Szenario beschreibt die potenziell energieeffizientere Nutzung von Solarwärme für wärmebasierte Energiedienstleistungen. Die Energiedienstleistungen werden in diesem favorisierten Szenario auf folgende Weise zur Verfügung gestellt:

- Kochen: Thermisch betriebener Herd, versorgt über Solarwärme Mitteltemperatur (230°C)/ Mitteltemperaturspeicher
- Licht: Elektrisch, versorgt über Solarwärme Mitteltemperatur (300°C)/ Mitteltemperaturspeicher/ ORC-Anlage/ Leuchtmittel

[12] Zero CO2 Cooler – der Kühlschrank mit Warmwasseranschluss, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020, FFG-Projekt: 825494

- Waschen: Trommelantrieb elektrisch, versorgt über Solarwärme Mitteltemperatur (300°C)/ Mitteltemperaturspeicher/ ORC-Anlage/ E-Motor, Heizwärme eingebracht über Solarwärme Niedertemperatur/ Pufferspeicher
- Heizung (Raumwärme + Warmwasser): versorgt über Solarwärme Niedertemperatur/ Pufferspeicher
- Kühlen (Kühlschrank): elektrisch, versorgt über Solarwärme Niedertemperatur/ Pufferspeicher / Absorptionskälte

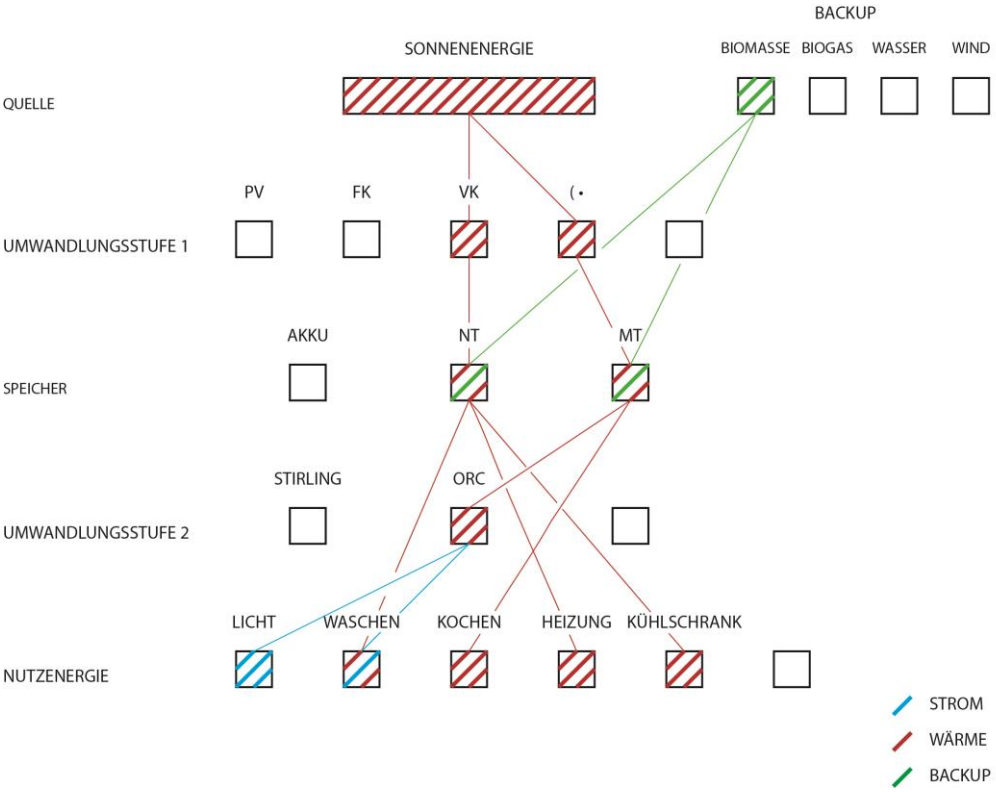


Abbildung 72: Systemflussbild Nutzungspfad-Szenario „Solarwärme/ORC“ (Grafik: teamgmi)

5.3.2 Referenzszenario „Solarstrom/PV“

Das Szenario für die Versorgung mit Solarstrom wird als konventionelle Referenz definiert, da die benötigten Komponenten durchwegs marktverfügbar sind oder sich in der abschließenden Entwicklungsphase befinden. Die Energiedienstleistungen werden im Referenzszenario folgendermaßen zur Verfügung gestellt:

- Kochen: E-Herd, versorgt über Solarstrom/ Akkumulator/ Widerstands- oder Induktionsheizung
- Licht: Elektrisch, versorgt über Solarstrom/ Akkumulator/ Leuchtmittel
- Waschen: Trommelantrieb elektrisch, versorgt über Solarstrom/ Akkumulator/ E-Motor, Heizwärme eingebracht über Solarwärme Niedertemperatur/ Pufferspeicher
- Heizung (Raumwärme + Warmwasser): versorgt über Solarwärme Niedertemperatur/ Pufferspeicher
- Kühlen (Kühlschrank): elektrisch, versorgt über Solarstrom/ Akkumulator/ Kompressionskälte

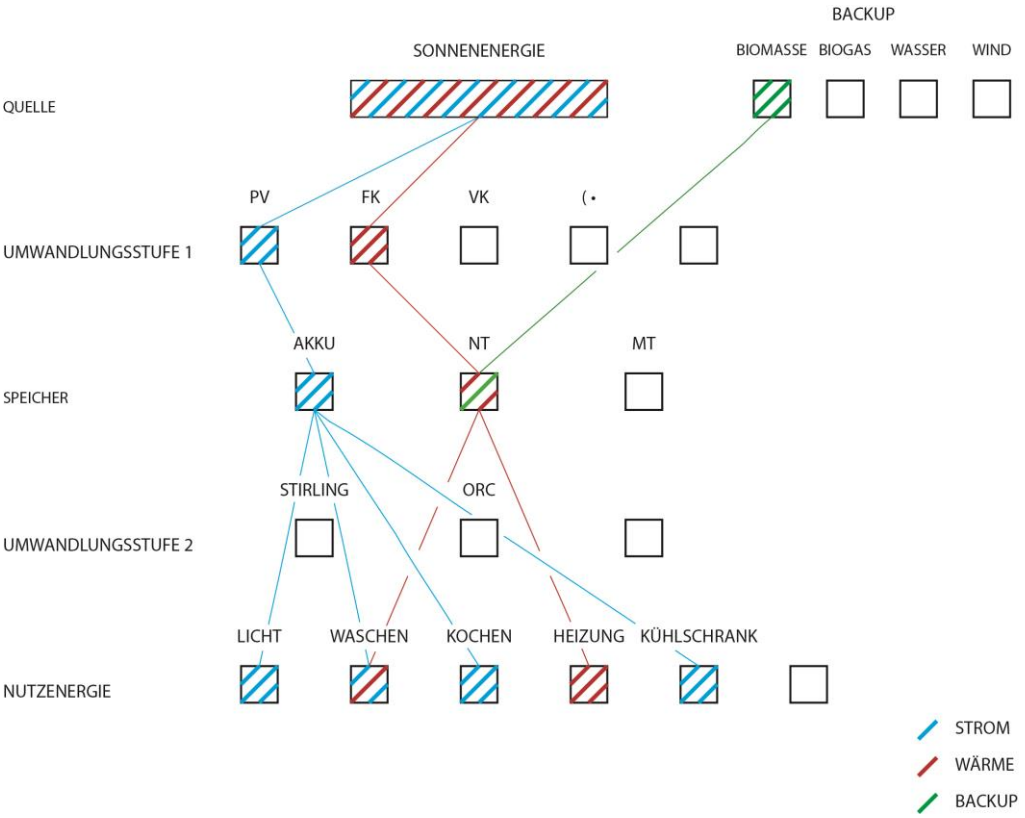


Abbildung 73: Systemflussbild Nutzungspfad-Referenzszenario „Solarstrom/PV“ (Grafik: teamgmi)

5.3.3 Vergleich der Szenarien

Ziel des gegenständlichen Vergleichs ist der Entwurf einer Referenzanlage aus marktgängigen Komponenten, die dieselben Ziele in Bezug auf Emissionsneutralität und Autonomie im Sinne der Definition „Zero Carbon Village“ erfüllt.

Die rechnerische Modellierung der Referenzanlage in diversen Varianten erfolgte mittels der Simulationssoftware PVSol 3.0 (Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH, Berlin).

Um die dargestellten elektrisch basierten Energiedienstleistungen im Referenzszenario zu erfüllen, wurde eine Photovoltaik-Inselanlage definiert. Die daneben weiterhin abzudeckenden thermisch basierten Energiedienstleistungen sind analog zum Szenario „Solarwärme-ORC“ mit einer thermischen Niedertemperatur-Solaranlage in Verbindung mit Biomasse als Backup-Wärmequelle abzudecken.

Vor der Simulation über PVSol erfolgte eine Grobabschätzung zur Vordimensionierung:

- Strombedarf/ Jahresstromproduktion erforderlich analog zu Szenario „Solarwärme-ORC“: 44 MWh/a
- Zusätzliche Versorgung von je 1 Kühlgerät elektrisch anstatt thermisch (A++, marktbeste Geräte: ca. 40 kWh/a) für 50 Haushalte: 2 MWh/a
- Gesamtstrombedarf: 46 MWh/a
- Täglicher Bedarf bei (vereinfachend angenommen) konstanter Verteilung: 126 kWh/d
- Batteriekapazität bei 5 Tagen Ladereserve: 630 kWh (zusätzlich ist ein Sicherheitszuschlag einzuplanen, da Batterien nie ganz entladen werden dürfen bzw. der Systemwirkungsgrad nicht 100% beträgt)
- Bei 24 V Systemspannung und einer max. Entladung von 50 % entspricht dies einer Batteriekapazität von ca. 53 kAh.

Im Rahmen der Simulation wurde untersucht, welche Anlagenkonfiguration (Variation der Modulfläche und der Batteriekapazität) diesen Verbrauch zu welchem Anteil decken kann (solare Deckung des Gesamtstrombedarfs).

5.3.3.1 Simulationsannahmen

- Anlagentyp: Inselanlage
- Verbrauchertypen: Wechselstrom
- Verbrauchsprofil: Wohnbau
- Klimadatensatz: St. Pölten (geografisch nächstgelegener Standort zu Traismauer in der Klimadatenbank des Simulationsprogrammes PVSol)

Tabelle 5: Übersicht der Simulationsvarianten und der dazugehörigen Deckungsgrade

Variante	**PV-Generator-Nennleistung**	**Modulfläche brutto**	**Batteriekapazität**	**Solare Deckung**
	kWp	m^2	kAh	%
1	53	429	0,92	32
2	53	429	53	39
3	118	957	0,92	41
4	118	957	53	66
5	118	957	106	67
6	212	1717	106	78
7	265	2146	106	82
8	265	2146	212	84

5.3.3.2 Variantenbeschreibung

Folgende Varianten wurden in der Simulation ausgewertet:

Variante 1: PV-Nennleistung 53 kWp; Batteriekapazität 0,92 kAh

Deckungsgrad 32 %. Diese Variante ist durch die geringe Speicherkapazität gekennzeichnet. Dadurch wird die Wirkung der Ladereserve auf den Deckungsgrad im Vergleich zu Variante 2 deutlich.

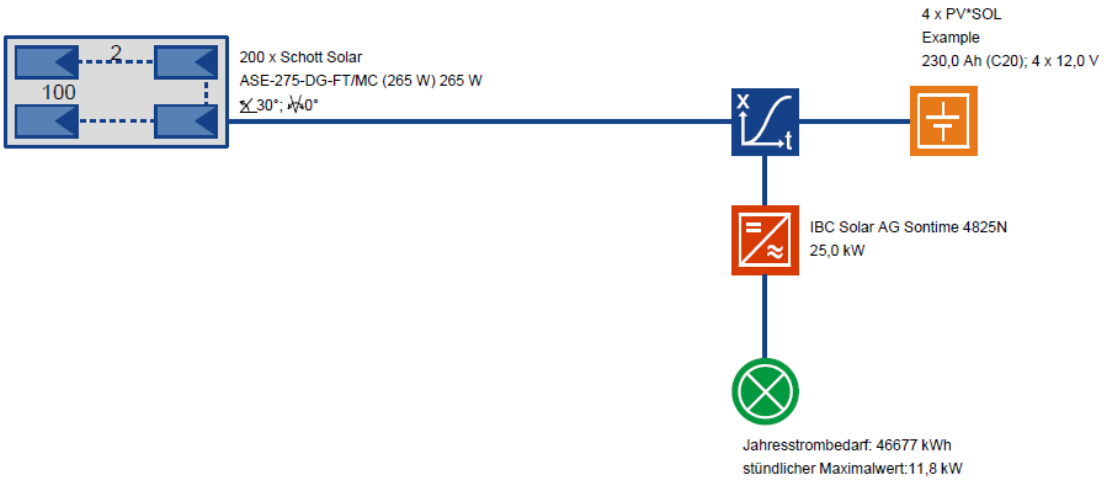


Abbildung 74: Anlagenparameter Variante 1 (Grafik: teamgmi)

Variante 2: PV-Nennleistung 53 kWp; Batteriekapazität 53 kAh

Die Generatornennleistung ist ident mit Variante 1, die Speicherkapazität wurde für 5 Tage Ladereserve dimensioniert. Der Deckungsgrad steigt dadurch von 32 % auf 39 %.

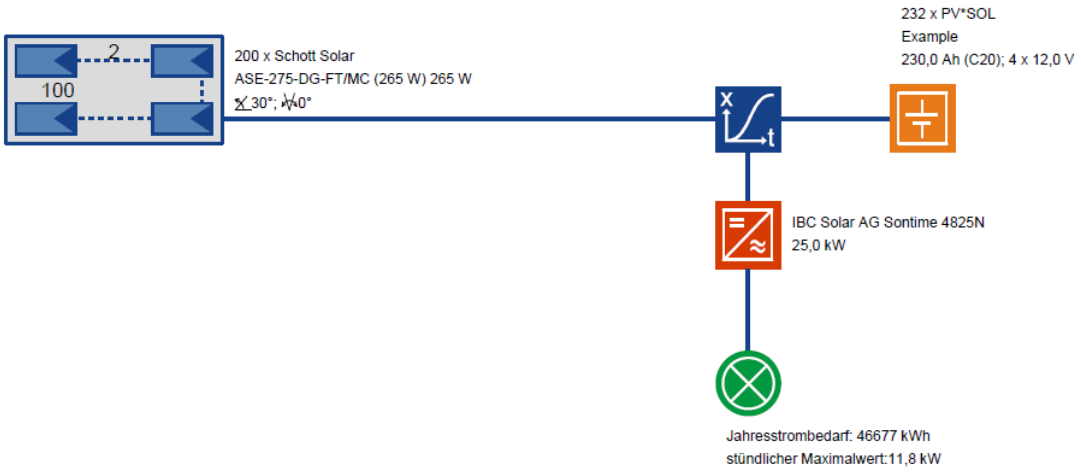


Abbildung 75: Anlagenparameter Variante 2

Variante 3: PV-Nennleistung 118 kWp; Batteriekapazität 0,92 kAh

Im Vergleich zu Variante 1 wurde der Speicher gleich belassen und nur die Generatorleistung erhöht. Der Deckungsgrad steigt dadurch von 32 auf 41 %.

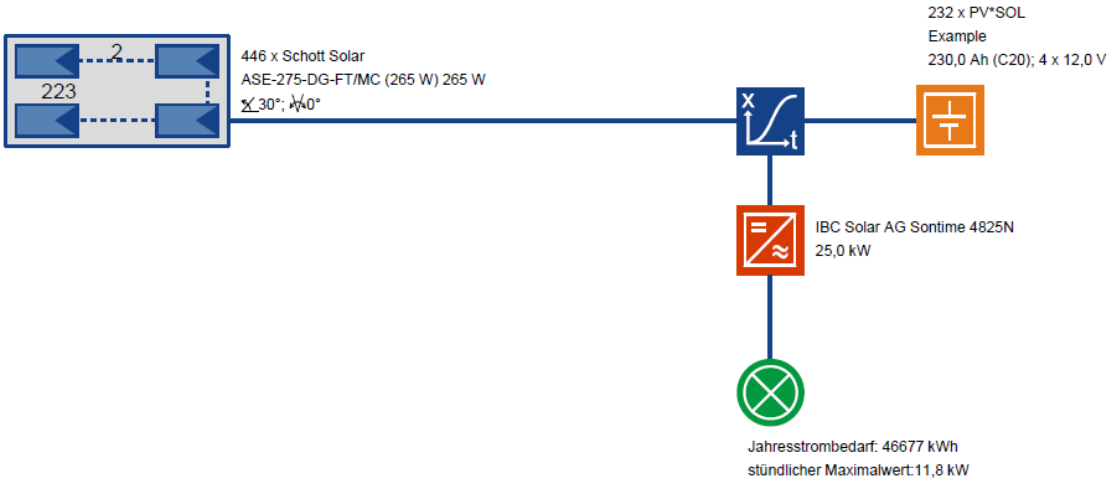


Abbildung 76: Anlagenparameter Variante 3 (Grafik: teamgmi)

Variante 4: PV-Nennleistung 118 kWp; Batteriekapazität 53 kAh

Der größere Speicher erhöht den Deckungsgrad im Vergleich zu Variante 3 von 41 % auf 66 %, die idente Speichervergrößerung wirkt sich bei dieser Modulfläche im Vergleich zu den Varianten 1 und 2 deutlich stärker aus, der Speicher kann also besser genutzt werden. Im Vergleich zu Variante 2 zeigt sich ebenso die deutliche Erhöhung des Deckungsgrades durch die höhere Generatorleistung von 39 % auf 66 %.

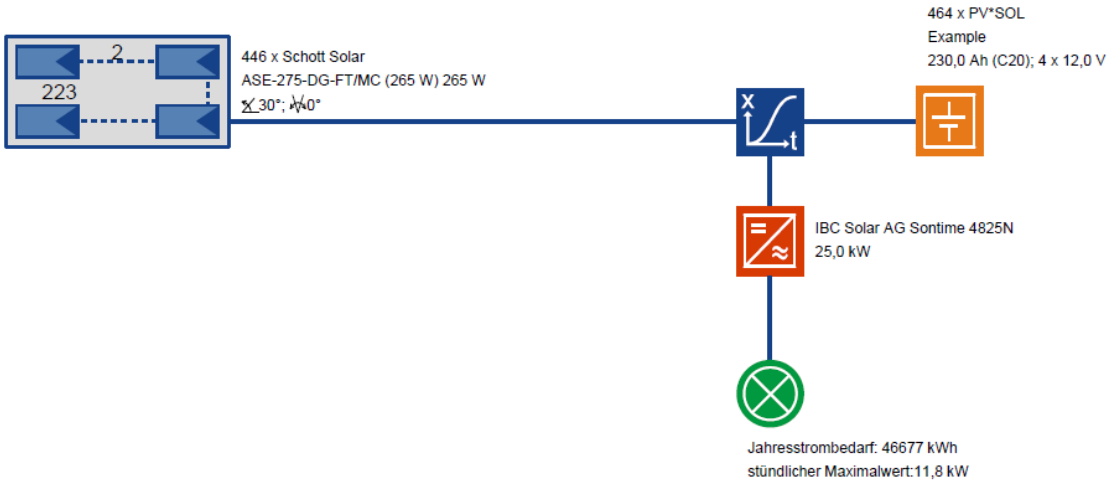


Abbildung 77: Anlagenparameter Variante 4 (Grafik: teamgmi)

Variante 5: PV-Nennleistung 118 kWp; Batteriekapazität 106 kAh

Die nochmal verdoppelte Speicherkapazität bei gleicher Modulfläche im Vergleich zu Variante 4 bewirkt nur mehr eine geringe Verbesserung des Deckungsgrades von 66 % auf 67 % – es ist ein Sättigungsverhalten in Bezug auf die Speicherkapazität abzulesen, der größere Speicher bringt keinen nutzbaren Effekt.

Variante 6: PV-Nennleistung 212 kWp; Batteriekapazität 106 kAh
Um den Speicher aus Variante 5 besser zu bewirtschaften, wurde die Generatorleistung deutlich erhöht – damit kann der Deckungsgrad von 67 % auf 78 % gesteigert werden.

Variante 7: PV-Nennleistung 265kWp; Batteriekapazität 106kAh
Die weitere Steigerung der Generatorleistung bei gleichem Speicher wie Variante 6 erhöht den Deckungsgrad um 4 Prozentpunkte, auch die Generatorleistung nähert sich einem Sättigungsverhalten.

Variante 8: PV-Nennleistung 265 kWp; Batteriekapazität 212 kAh
Das in Variante 7 beobachtete Sättigungsverhalten kann auch durch eine Verdopplung der Speicherkapazität nicht mehr verändert werden – die solare Deckung steigt nur um weitere 2 Prozentpunkte.

5.3.3.3 Schlussfolgerungen Variantenvergleich
Eine vollständige Abdeckung des Strombedarfs durch eine PV-Inselanlage ist klimabedingt nicht möglich, da sich entsprechend den Simulationsergebnissen beim Deckungsgrad ein Sättigungsverhalten einstellt. Es ist deswegen analog zum thermisch basierten Modell eine Backup-Versorgung erforderlich.
Die Backup-Lösung könnte ähnlich wie im Solarthermiemodell eine biomassebefeuerte ORC-Anlage, ein Biogas-BHKW etc. sein.
Ein investitionsrechnerischer Vergleich Solarthermie/Solarstrom ist aufgrund der anhaltend fallenden Preise für PV-Module und der nicht marktgängigen Komponenten für Solarwärme nicht aussagekräftig und wird daher nicht vorgenommen.
Eine Deckung von ca. 2/3 des Strombedarfs ist mit moderater Anlagengröße (PV-Modulfläche ca. 950 m^2, Batteriespeicher max. 53 kAh) möglich.
Größere Deckungsgrade bis zu 84 % sind nur mit verhältnismäßig aufwendiger Vergrößerung der Anlage möglich und daher nicht empfehlenswert.

Die vollständigen Reports der Simulationen aus PVSol für die Varianten 1–4 sind im Anhang Teil 1 zu finden.

5.4 Netzdesign

5.4.1 Niedertemperaturnetze
Beim Design des Wärmenetzes ist auf die – mit der Verteilung einhergehenden, unvermeidlichen – Wärmeverteilverluste besonders Bedacht zu nehmen. Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Verlustanteile und somit die Wirtschaftlichkeit des Wärmeverteilnetzes sind die Netz-Nennauslastung, die mittlere Fluidtemperatur, der zeitliche Faktor für den Energietransfer und die Dämmstärke der Verteilleitungen. Im Sommerbetrieb (keine Raumwärmenachfrage, nur Warmwasserbereitung) steigen die Verluste aufgrund der diskontinuierlichen Entnahme und des geringen spezifischen Wärmebedarfs im Vergleich zum Winterbetrieb deutlich an. Mit einem innovativen Bedarf-Speicher-Erzeuger-Management können diese Verlus-

te unter anderem wegen des höheren Warmwasserbedarfs entsprechend dem Konzept des energieautonomen Gebäudes minimiert werden.
Die integrierte Planung berücksichtigt somit die Bedarfsbestimmung ebenso wie das Wechselspiel zwischen Wärmeerzeuger, -verteilung und -verbrauch. Für den Leitungsbau werden standardisierte, vorgedämmte Leitungssysteme mit integrierter Lecküberwachung zur Verlegung im Erdreich herangezogen werden. Neben einer optimierten Leitungsdimensionierung ist daher auch eine möglichst niedrige Betriebs-Mitteltemperatur anzustreben. Diese ist bei der meist vom Verbraucher vorgegebenen Vorlauftemperatur über eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur beeinflussbar. Da diese nicht direkt geregelt bzw. eingestellt werden kann, sondern eine Auswirkung aus Vorlauftemperatur, Volumenstrom und Wärmebedarf im Nahwärmenetz darstellt, ist eine genaue Analyse für eine technisch sinnvolle und somit wirtschaftliche Lösung entscheidend.

Auslegung

Das Design des Nahwärmenetzes wird anhand des Beispiels Traismauer dargestellt:

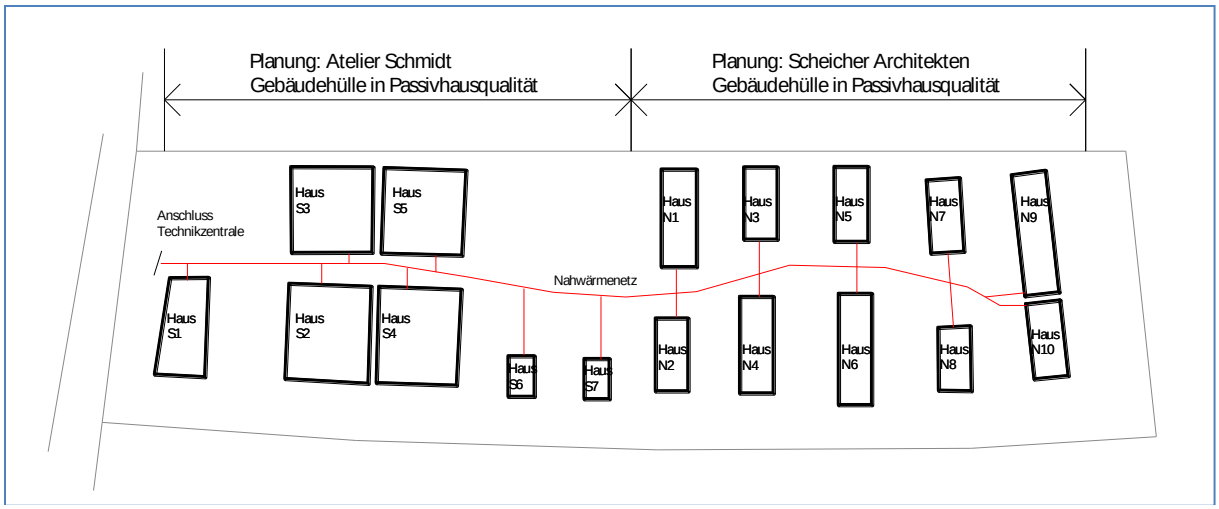


Abbildung 78: Lageplan am Beispiel Zero Carbon Village Traismauer (Grafik: teamgmi)

Zur Bestimmung des Wärmebedarfs Raumheizung sowie des Warmwasserbedarfs wurden jeweils 20 kWh/(m^2a) dem Leistungsbedarf und 20 W/m^2 der Auslegung zugrunde gelegt. Die Verluste wurden mit zuzüglich 15 % der Berechnung im Sinne einer energieeffizienten Bauweise mit günstigem A/V-Verhältnis zugeschlagen.

Tabelle 6: Zusammenstellung Bedarfszahlen je Haus – Struktur (Grafik: teamgmi)

Haus nr.	Einheit	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	N1
Wohnungsanzahl	-	1	5	5	5	5	2	2	4
angenommenen Nutzfläche pro Einheit	m2	*400*	80	80	80	80	80	80	80
Heizlast	**kW**	***9,20***	**9,20**	**9,20**	**9,20**	**9,20**	**3,68**	**3,68**	**7,36**
HLZuschlag für WW (ohne GL)	**kW**	***7,00***	**17,00**	**17,00**	**17,00**	**17,00**	**10,00**	**10,00**	**12,00**
Wärmebedarf RH+WW	**kWh/a**	***18.400***	**18.400**	**18.400**	**18.400**	**18.400**	**7.360**	**7.360**	**14.720**

Haus nr.	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Wohnungsanzahl	3	3	4	6	12	6	6	12	6
angenommenen Nutzfläche pro Einheit	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Heizlast	**5,52**	**5,52**	**7,36**	**11,04**	**22,08**	**11,04**	**11,04**	**22,08**	**11,04**
HLZuschlag für WW (ohne GL)	**13,00**	**13,00**	**12,00**	**19,00**	**32,00**	**19,00**	**19,00**	**32,00**	**19,00**
Wärmebedarf RH+WW	**11.040**	**11.040**	**14.720**	**22.080**	**44.160**	**22.080**	**22.080**	**44.160**	**22.080**

Für die Bestimmung der notwendigen Wärmeleistung ist die Art der Warmwasserbereitung maßgeblich. Bei der Wassererwärmung im Durchflusssystem sind wesentlich höhere Leistungsspitzen als im Falle eines Speicherlagesystems abzudecken. Im diesem Fallbeispiel soll die Speicherladung dargestellt werden. Um den Rohrdurchmesser optimiert zu bestimmen, wird ein sogenannter Gleichzeitigkeitsfaktor angesetzt. Damit kann je nach Anzahl der Verbraucher der theoretisch maximale Volumenstrom reduziert werden. Für die Bestimmung des Rohrdurchmessers werden für den Warmwasserbedarf folgende Gleichzeitigkeitsfaktoren herangezogen:

Tafel 4.4.2-1 Zentrale Wasser-Erwärmungsanlagen nach dem Speichersystem für Mietshäuser mit 3 bis 4 Zimmern, 3 bis 4 Personen und Wannenvollbad je Wohnung*)

z_A = Anheizdauer, Betriebsdauer (Spitzenbedarf) z_B = 2 h, Δt = 35 K, ϑ_w = 60 °C

Zahl der Wohnungen	Gleichzeitigkeitsfaktor	Max. Wärmebedarf in kW	Kesselleistung $\dot{Q}_K$ in kW bei z_A in h				Speichergröße V_S in l bei z_A in h			
n	φ	$\dot{Q}$	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3
1	1,15	8	7	6	4	3	90	150	200	220
2	0,86	12	10	8	6	5	130	200	300	370
4	0,65	18	15	12	9	7	190	300	450	520
6	0,56	24	19	16	12	10	230	400	600	740
8	0,5	28	24	19	14	12	300	470	690	890
10	0,47	33	27	22	17	13	330	540	835	960
12	0,47	39	32	26	20	16	395	640	985	1180
15	0,44	46	37	31	23	18	455	765	1130	1330
18	0,42	53	42	35	27	21	520	860	1130	1550
20	0,4	56	45	37	28	22	555	910	1380	1620
25	0,38	67	54	45	34	27	665	1110	1670	2000
30	0,36	76	61	51	38	30	750	1250	1870	2220
40	0,33	93	74	62	46	37	910	1525	2260	2730
50	0,32	112	90	75	56	45	1110	1850	2750	3320
60	0,31	130	104	87	65	52	1280	2140	3200	3840
80	0,29	162	130	108	81	65	1600	2660	3990	4800
100	0,28	195	157	130	98	78	1930	3200	4820	5760
120	0,27	230	185	155	115	92	2280	3815	5660	6790
150	0,26	275	220	185	138	110	2700	4550	6790	8120
200	0,25	350	280	235	175	140	3450	5780	8610	10330

Δ_t = Differenz zwischen oberer und unterer Wassertemperatur im Speicher; hier: teilweise Mischung, also Δ_t = 60–25 = 35 K; siehe auch Abschn. 4.4.4-1 s. S. 1738.

*) Sander, H.: Warmwasserbereitungsanlagen. 2. Aufl. Berlin. Haenchen und Jäh 1963. Rulla, P.: HR 4/80. 7 S.

Abbildung 79: Gleichzeitigkeitsfaktoren (Grafik: Recknagel et al. 2007, bearbeitet)

Für die Netzauslegung wird abhängig vom Bedarf auf eine möglichst niedrige Vor- wie auch Rücklauftemperatur geachtet, um die Netzverluste gering halten zu können. Weiters tragen die Strömungsgeschwindigkeit und somit der Druckverlust und Leitungsverluste gegenläufig zum Energieverbrauch der Umwälzpumpe bei.

Wärmeerzeuger:
Eine Kombination von einem oder mehreren Wärmeerzeugern ist aufgrund der unterschiedlichen Lastfälle anzustreben. Der Grundlastfall ist durch eine sehr hohe Betriebsstundenzahl und nahezu konstante Wärmeabnahme gekennzeichnet. Dieser beansprucht nur zwischen 10–40 % der maximalen Leistung, deckt jedoch 60–80 % des jährlichen Bedarfs ab. Die Spitzenlast deckt den Bereich, der darüber hinausgeht, ab. (Vgl. Fraunhofer Umsicht o.J.)

Für den Netzaufbau gibt es unterschiedliche Netzstrukturen zur Auswahl.
Bei den gängigen Netzformen wird zwischen Strahlennetz, Ringnetz und Maschennetz unterschieden. Das Ring- und Maschennetz wird bei großen Netzen eingesetzt. Die Vorteile mit Versorgungsicherheit (mehrere Erzeuger) und einfacherer Erweiterbarkeit stehen den Nachteilen der größeren Trassenlänge und größeren Nenndurchmesser gegenüber. Bei kleinen und mittleren Fern- und Nahwärmenetzen wie in diesem Fall wird das Strahlennetz aufgrund der kurzen Leitungswege, des geringeren Durchmessers und somit der geringeren Baukosten eingesetzt. Bei den Rohrsystemen gilt es zwischen Einzelrohrsystem und Doppelrohrsystemen zu unterscheiden. Bei kleinen Nennweiten (bis DN50) gibt es von verschiedenen Systemanbietern das kostengünstigere Doppelrohrsystem anstelle von zwei Einzelleitungen. Der Nachteil liegt in der geringen Dämmung zwischen der Vor- und Rücklaufleitung, was zu Wärmeübertragung zwischen Vor- und Rücklauf führt. Dies ist bei Wärmeerzeugern problematisch, die auf niedrige Rücklauftemperaturen angewiesen sind.
Folgende Diagramme zeigen die Wärmeverluste zwischen Doppel- und Einzelrohrsystem:

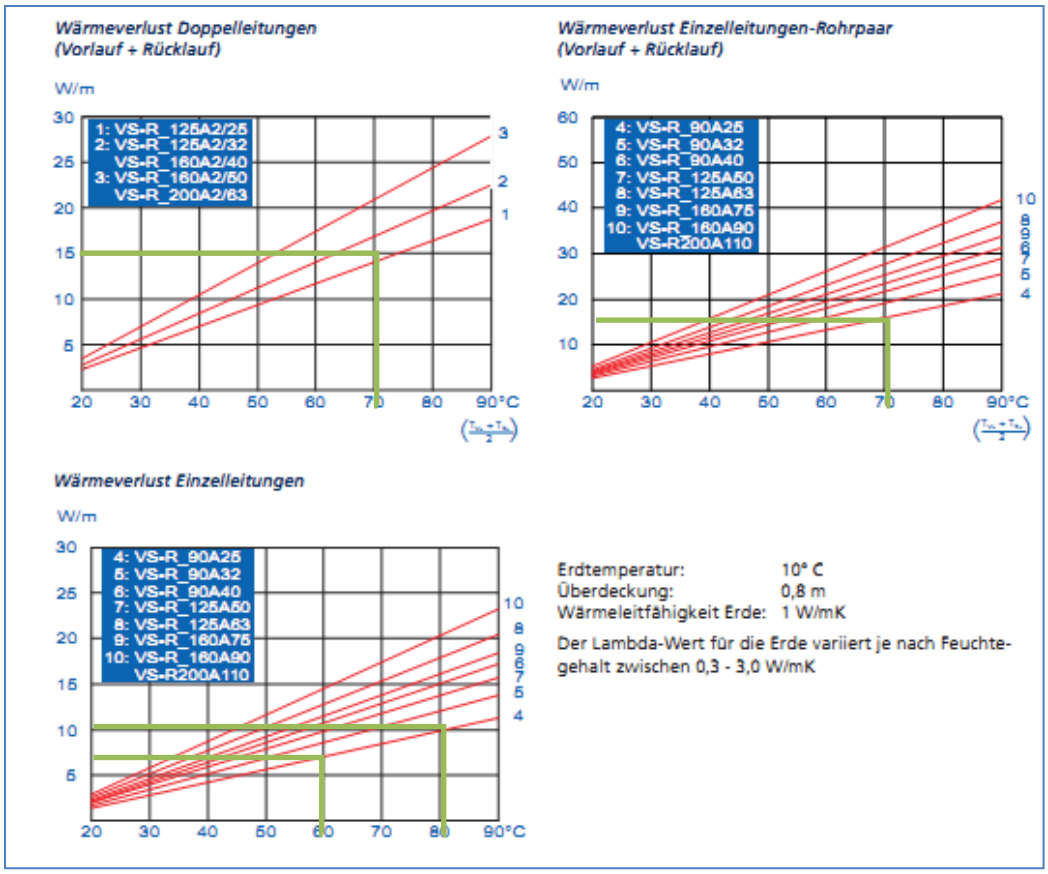


Abbildung 80: Wärmeverluste Einzel- und Doppelleitungen (Quelle: Thermaflex-Flexalen Rohr- und Isoliersysteme GmbH, Preisliste 2010, Seite 27, Wärmedämmwerte Flexalen 600 http://www.thermaflex.at/cms/dynimages/mb/files/PL%20oesterreich%20909398-DE_low.pdf, abgerufen am 27.08.2012)

Bei angenommenen Temperaturen von Vorlauf 80 °C und Rücklauf 60 °C zeigen die Diagramme, dass die Verluste beim Doppelrohr geringer sind als bei zwei Einzelrohren. Bei optimierter Vorlauftemperatur werden die absoluten Netzverluste im Sommer wie auch im Winter annähernd konstant sein. Die tatsächlichen Verluste bei Vorlauftemperaturen zwischen 60-80°C und Rücklauftemperaturen zwischen 20-40°C entsprechend dem Bedarf der thermischen Dienstleistungen und sollen mittels eines errichteten Prototyps (Kapitel 5.10) bestimmt werden. Hingegen wird der relative Wärmeverlust im Winter niedriger als im Sommer sein, da im Winter der Verbrauch deutlich höher ist. Für die Verlegung sind die detaillierten Verarbeitungsrichtlinien der zahlreichen Hersteller und des Tiefbaues zu beachten. Auf die Einhaltung von Abständen, Überdeckungen und Mischung des Sandbetts wird hier nicht genau eingegangen.

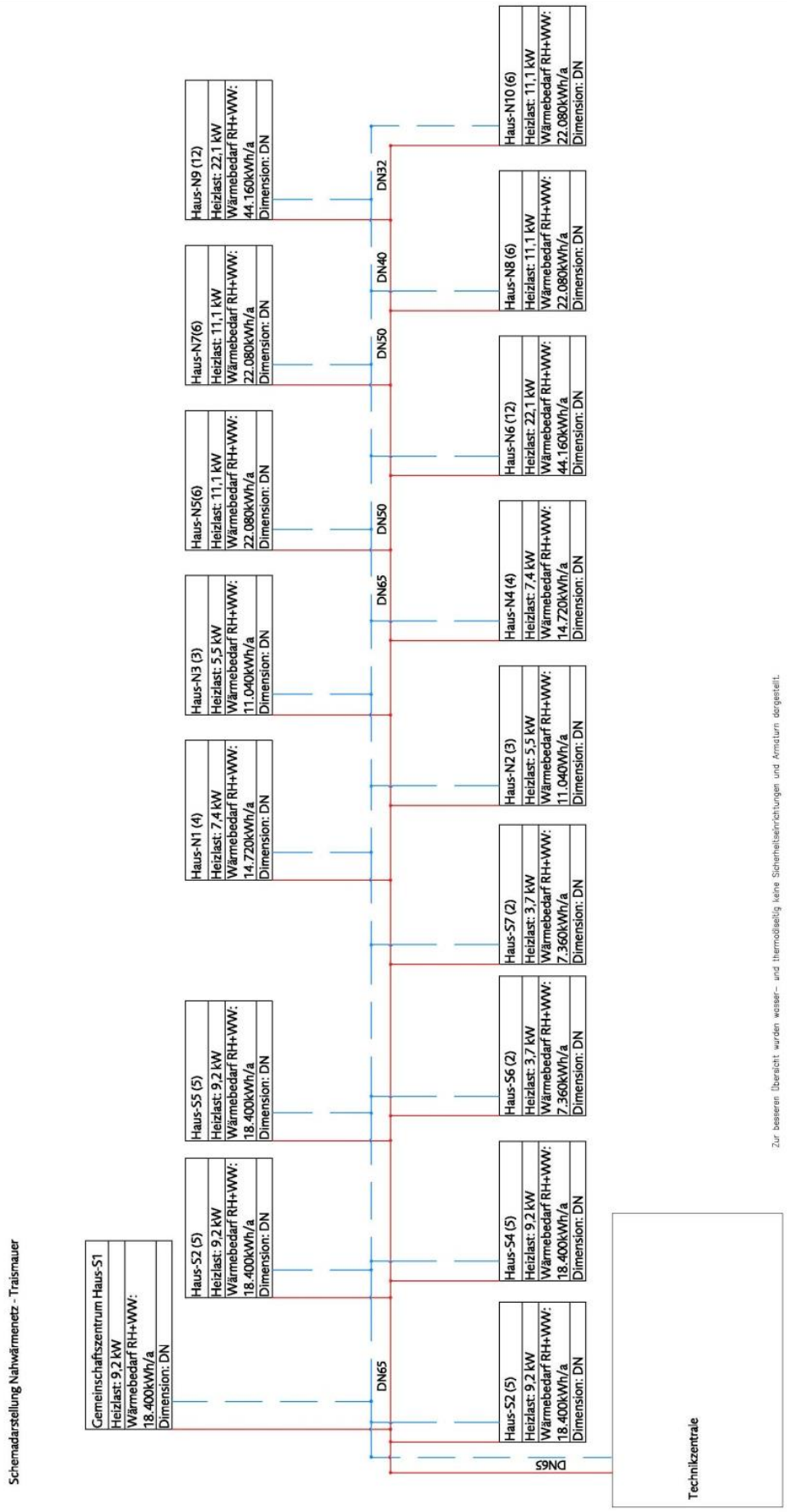


Abbildung 81: Schematische Darstellung Wärmenetz Zero Carbon Village Traismauer (Grafik: teamgmi)

Für einen wirtschaftlichen Betrieb des Nahwärmenetzes ist eine lastabhängige Vorlauftemperaturregelung zu realisieren. Vergleicht man eine konstante Vorlauftemperaturregelung mit einer lastabhängigen VL-Regelung (Drehzahlregelung nach konstanten Druck), kann eine Einsparung von mehr als 30 % erzielt werden. Bei gleitender Vorlauftemperatur werden Einsparungen von ca. 20 % erreicht (vgl. Mauch/Gobmaier 2009).

5.4.2 Mitteltemperaturnetze

Die Erfahrungen von Nahwärmenetzen im Niedertemperaturbereich sind nur bedingt auf die Anwendungen im Mitteltemperaturbereich umzulegen. Die wichtigsten Parameter bei der Planung von Mitteltemperaturnetzen sind die Temperaturverluste sowie die Längenausdehnung der Leitungen. Die Netze sind aufgrund der hohen Leitungsverluste möglichst kurz zu dimensionieren. Da die Mitteltemperaturanwendungen üblicherweise das ganze Jahr über konstant in Betrieb sind, ist mit keiner oder nur einer geringen Schwankung der Wärmeabnahme über den Jahresverlauf zu rechnen. Auch im Bereich der Mitteltemperatur sind vorgedämmte Leitungssysteme einsetzbar – z.B. als Spezialanfertigungen für höhere Dämmstärke (z.B. 25er-Rohr in 150er-Rohrmantel). Die vorgedämmten Systeme finden auch im Gebäude bzw. Technikmodul Verwendung.

5.5 Systemvarianten

Hinsichtlich des Versorgungskonzeptes für die Siedlung wurden zunächst drei verschiedene Szenarien betrachtet. Bei der Variante 1 wird von einer zentral angeordneten Energieversorgung ausgegangen. In den Varianten 2 und 3 hingegen erfolgt die Energieversorgung für jeweils ein Gebäude separat. Als Grundlage wurde dafür ein Gebäude entworfen, das der verdichteten Bauweise im Zero Carbon Village entspricht.

Dafür wurde zunächst von einer autonomen Versorgung ausgegangen, um den infrastrukturellen Aufwand abschätzen zu können. Bei Verwendung von Stirling- oder ORC-Technologien kann die dabei entstehende Abwärme (Temperaturniveau 30–40°C) zur Versorgung des Gebäudes verwendet werden (Heizung, Warmwasser und teilweise Versorgung der Waschmaschinen). Zur Einhaltung hygienischer Standards sind die Warmwasserspeicher einmal pro Tag auf 60°C zu erhitzen. Bei weiterführender Recherche hat sich jedoch durch die Verwendung einer ORC-Anlage eine Variante 4 herauskristallisiert.

5.5.1 Variante 1: Zentral

Bei dieser Variante sind Solaranlagen, Biomasse-Backup und die Stromproduktion zentral angeordnet. Kosten- und Ressourceneinsparungen sind möglich, da nicht jede Gebäudeeinheit mit einem eigenen Energiesystem ausgestattet werden muss. Nachteilig ist hier eine Versorgung von Herd und Backofen mit Thermoöl, die durch ein eigenes Verteilungsnetz erfolgen müsste,

Die Realisierung eines zentral angelegten Verteilungsnetzes für Anwendungen im Mitteltemperaturbereich ist aufgrund der hohen Energieverluste bei Temperaturen von 200-300°C allein schon wegen der Wärmestrahlung in diesem Maßstab (Versorgung 50 Wohneinheiten) eher nicht möglich.

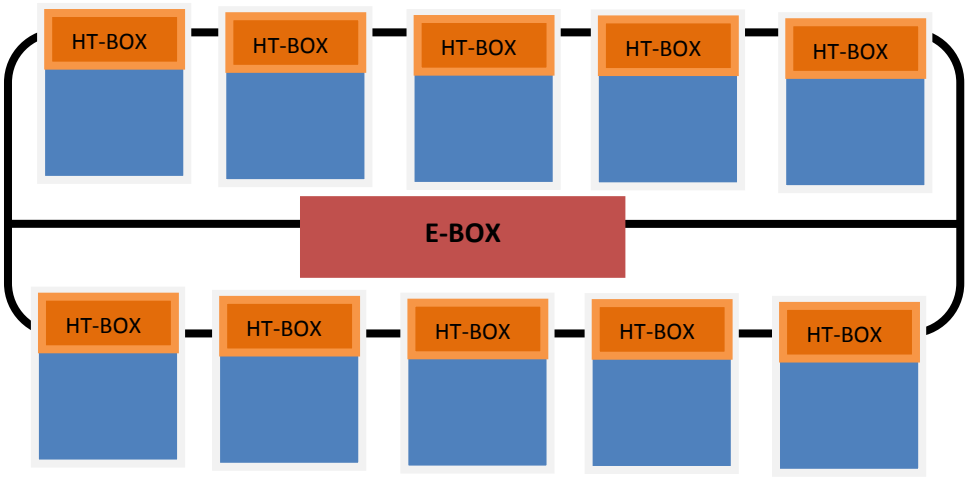


Abbildung 82: Variante 1: Zentral

5.5.2 Variante 2: Dezentral – integriert

Sämtliche Speicher, BHKW, Haustechnik und Sanitäranlagen befinden sich in zwei vorgefertigten Boxen, die übereinander gestapelt werden könnten und damit sämtliche Installationen umfassen. Aufgrund der notwendigen Dämmung, auch bzgl. Sicherheit (Leckagen) und Geruchsbelästigung (Thermoöl) wäre eine Unterbringung in einer Technikebene (z.B. Keller) erforderlich.

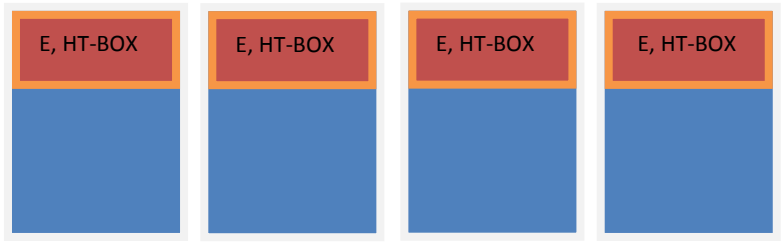


Abbildung 83: Variante 2: Dezentral – integriert

5.5.3 Variante 3: Dezentral – angedockt

Hier befinden sich die Haustechnik und Sanitäranlagen im Gebäude, die Thermoölanwendungen in einer andockbaren Box. Damit findet eine räumliche Trennung von Energiesystem und Gebäude statt. Als Schnittstellen dienen nur die Versorgungsleitungen zwischen Energie-Box und Gebäude. Diese Variante eignet sich vor allem, um die neue Technologie an Einzelgebäuden zu erproben oder nachzurüsten. Die Thermoölanwendung und das BHKW können von außen gewartet werden, ohne die Bewohner zu stören.

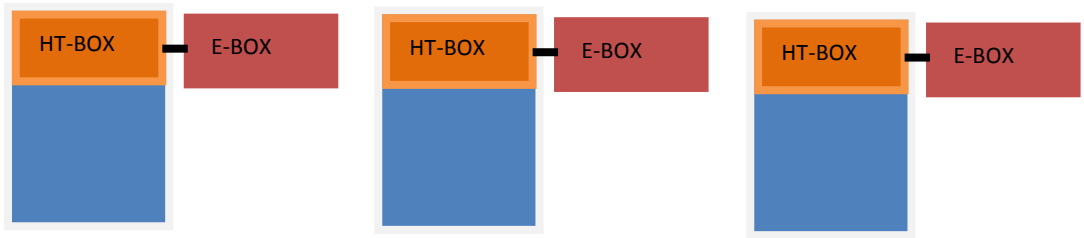


Abbildung 84: Variante 3: Dezentral – angedockt

5.5.4 Variante 4: Zero Carbon Village

Recherchen haben gezeigt, dass der Betrieb einer Mikro-ORC-Anlage zur Produktion von elektrischer Energie eine konstante Versorgung mit thermischer Energie in ausreichendem Umfang und auf hohem Temperaturniveau erfordert (siehe Kapitel 5.6.5). Für erhältliche

(sich noch im Feldtest befindliche) Anlagen ist eine Zuführung von mehr als 50 kW an thermischer Energie erforderlich, um einen elektrischen Output von 5 kW zu erreichen, da der elektrische Wirkungsgrad bei diesen Anlagen unter 10 % liegt. Um eine solche Größenordnung zu erreichen, ist die Umsetzung der Energieversorgung nach dem Konzept des energieautonomen Gebäudes nur in einem Siedlungsverband mit einem zentral angeordneten Mitteltemperaturspeicher möglich. Die für die Bereitstellung der Energie unterstützenden Vakuumröhrenkollektoren (siehe Kapitel 5.7.3.5) können hingegen zentral oder dezentral angeordnet werden.

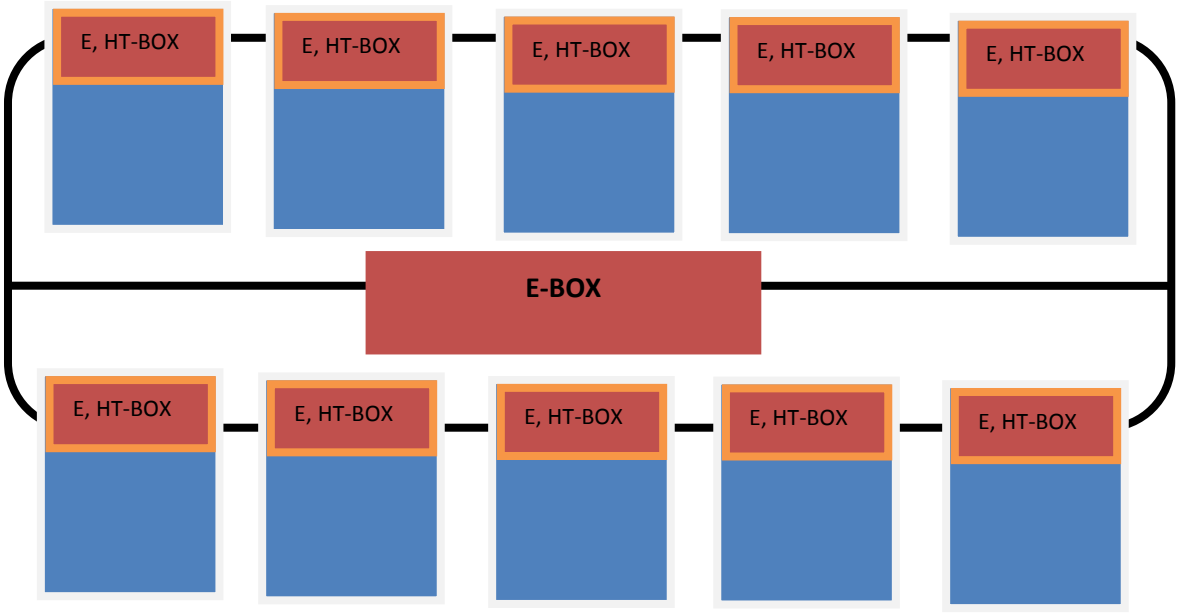


Abbildung 85: Variante 4: Zero Carbon Village

5.6 Technologien und Komponenten

Um die Energieversorgung nach dem Konzept des energieautonomen Gebäudes für das Zero Carbon Village umzusetzen, wurden bei der Auswahl der Komponenten folgende Faktoren berücksichtigt: Entwicklungsstand, Erfahrungsberichte, Verfügbarkeit der Hersteller, modulare Bauweise, Integrierbarkeit und wirtschaftliche Aspekte.

Bereits auf dem Markt verfügbare, modular erweiterbare Produkte hatten im Sinne der Umsetzbarkeit des Projektes jedoch Vorrang gegenüber anderen Technologien.

5.6.1 Überprüftes Systemlayout für die Komponenten des Zero Carbon Village

Entsprechend den im Konzept festgelegten Schlüsseltechnologien und Eckpunkten wie Verwendung von konzentrierender Solarenergie, Biomasse-Backup-System, getrennte Versorgung der Endgeräte auf unterschiedlichem Temperaturniveau (Niedrig- und Mitteltemperaturspeicher) und Bereitstellung von Elektrizität wurde folgendes schematisch dargestellte Erstkonzept für die Energieversorgung entwickelt, dessen Energieströme rechnerisch in der nachfolgenden Energiebilanz bestimmt wurden.

Erst die Aufschlüsse einer Versuchsanlage, auf deren Basis geeignete Daten bzgl. elektrischer Restenergie der Anwendungen oder Speicherverhalten bei neuartiger Regelung etc. gesammelt werden können, ermöglichen eine vollständige Simulation der Versorgungskomponenten.

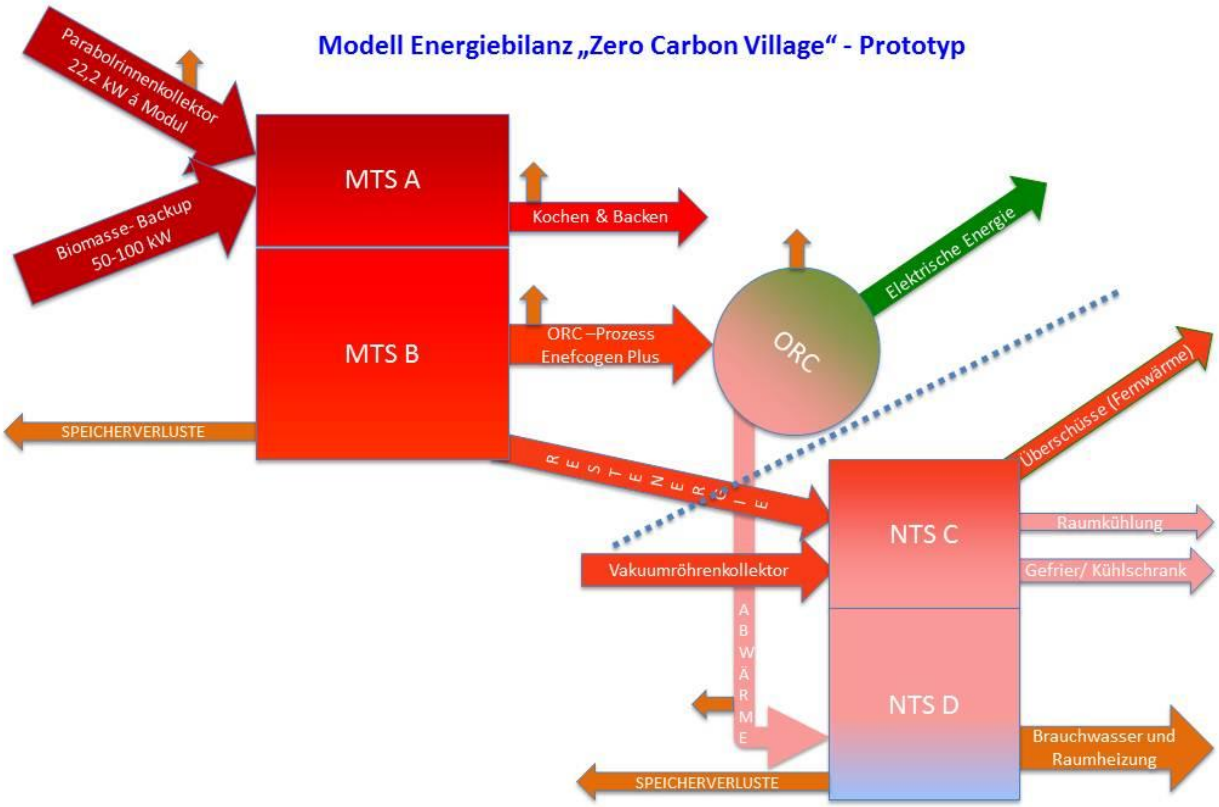


Abbildung 86: Schema für die Bilanzierung; „Zero Carbon Village“ – Prototyp. MTS = Mitteltemperaturspeicheranlage, NTS = Niedertemperaturspeicheranlage ORC = Organic-Rankine-Cycle-Anlage

Auf Basis des Temperaturniveaus werden zwei Bereiche (Trennung durch punktierte Linie) unterschieden:

- Thermische Energieströme über 100 Grad Celsius befinden sich im Bereich der „Mitteltemperaturanlage“. Diese bildet jene Komponenten ab, welche Energieeintrag und Energieaustrag des in der Siedlung zentral angeordneten „Mitteltemperaturspeichers“ bewirken. Die ORC-Anlage ist hier ebenfalls inbegriffen, da diese mit aufgrund des Temperaturniveaus höherwertiger thermischer Energie aus dem Mitteltemperaturspeicher versorgt wird.
- Thermische Energieströme unter 100 Grad Celsius stellen Energieeintrag und Energieaustrag des „Niedertemperaturspeichers“ dar. Die definierte „Niedertemperaturanlage“ bildet im Wesentlichen jene Komponenten ab, welche thermische Energiedienstleistungen in den Wohngebäuden bereitstellen. Das Wärmeträgermedium ist Wasser.

Die Speicherbereiche werden entsprechend den für die thermisch versorgten Energiedienstleistungen benötigten Temperaturniveaus unterteilt. Dies hat sich für die rechnerische Nachbildung als vorteilhaft erwiesen.
Die farbliche Kennzeichnung der thermischen Energieströme lässt auf das zu erwartende Temperaturniveau schließen. Die „Wertigkeit“ der thermischen Energie ist wie folgt, absteigend in Bezug auf das Temperaturniveau, festgelegt:

•Parabolrinnenkollektor/ Biomasse-Backup	220°C
•Kochen und Backen	180°C
•ORC Prozesswärme	150°C
•Restenergie – Backup (von Ladung MTS abhängig)	>90°C
•Vakuumröhrenkollektor/ Flachkollektor	90°C
•Überschüsse ins Glashaus (von Ladung NTS abhängig)	<90°C
•Raumkühlung/ Gefrierschrank/ Kühlschrank	70°C
•Abwärme ORC	<60°C
•Brauchwasser und Raumheizung	<60°C

Selbstverständlich wird sich das Energiesystem in einem dynamischen Betriebszustand befinden, sodass oben angeführte Temperaturwerte in regelungstechnisch festgelegten Wertebereichen variieren. Bezugspunkt für die Bereitstellung elektrischer Energie ist der Jahresbedarf der Siedlung. Durch Auswahl von geeigneter Modulgröße und passendem Betriebspunkt soll elektrische Energie mit einem möglichst konstanten Wert abgegeben werden. Wärmeenergieverluste (orange Pfeile), bestehend aus Leitungs- und Speicherverlusten, werden entsprechend rechnerischer Möglichkeit in der Modellrechnung berücksichtigt.

5.6.2 Parabolrinnenkollektor

Für die Bereitstellung der benötigten thermischen Energie zur Versorgung der Energiedienstleistungen im Mitteltemperaturbereich ist der Einsatz von konzentrierender Solarthermie erforderlich. Mit dem Parabolrinnenkollektor „PolyTrough 1800“ der Firma NEP wurde die technische Machbarkeit überprüft. Diese Kollektoren der Firma NEP wurden speziell für die Einsatzbereiche industrielle Dampfprozesse, solare Kühlsysteme, ORC-Anlagen und Entsalzungsanlagen konzipiert.

Das Ertragspotenzial der Kollektoren hängt unmittelbar mit der Direktstrahlungssumme am Standort zusammen. Wirtschaftlich günstige Standorte sind solche mit über 900 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr Direktstrahlungseintrag auf die Horizontale. Im Vergleich dazu verfügt der Standort Wien über einen Direktstrahlungseintrag von ca. 550 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr. Die Meteonorm-Klimadaten für Gemeinlebarn/Traismauer sind auch im Anhang Teil 2 zu finden. (Meteonorm, 2009)

Abbildung 87: Durch eine durchgängige Spiegelfläche wird Abschattung vermindert und der Receiverstrang gleichmäßig bestrahlt (NEP Zürich GmbH 2011)

Technische Beschreibung

- Kollektorlänge: Standardmaß 24 m, kleinere Längen sind, bei einem Mindestmaß von 12 m, möglich
- Die Verschaltung paralleler Kollektoren erfolgt im Tichelmann-System
- Regelungssystem der Kollektoren:
  → Einachsige Nachführung im 10-Sekunden-Takt
  → Regelung auf konstante Austrittstemperatur durch Drehzahlanpassung der Pumpe
  → Leistungsmodulation durch Defokusieren möglich (Überhitzungsschutz bei Stillstand)
- Die maximale Receivertemperatur beträgt 250 Grad Celsius.
- Als Wärmeträger ist Wasser oder Thermoöl möglich.
- Wirkungsgrad: Abhängigkeit von:
  → Temperaturdifferenz: mittlere Receivertemperatur zu Luftaußentemperatur (ΔT)
  → Intensität der Direktnormalstrahlung (Direct Normal Irradiation – DNI)

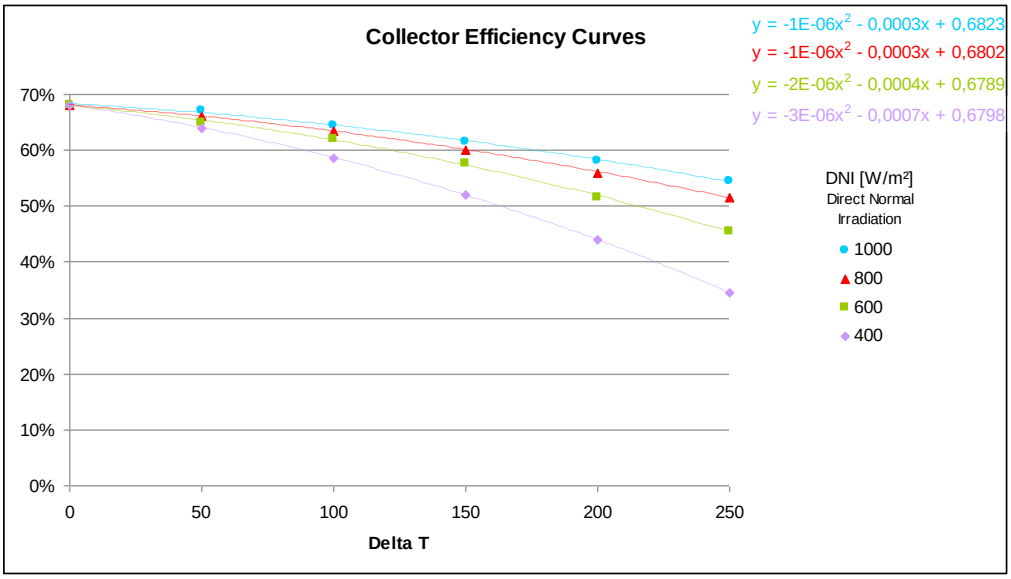


Abbildung 88: Wirkungsgradkennlinien bei verschiedener Strahlungsintensität, inklusive mathematischer Beschreibung (Verlustkoeffizienten) (Grafik: team GMI, Vogel)

- Leistungsabgabe nominal: 22,2 KW thermisch pro Modul (36,9 m²) bzw. 0,60 KW pro m² Aperturfläche
  Bedingungen: Mittlere Kollektortemperatur: 200 °C; 1000 W/m² DNI
- Orientierung:
  → Nord/Süd-Orientierung der Receiverachse bringt in der Breitengradregion Wien einen höheren Gesamtertrag über ein Jahr gerechnet.
  → Ost/West-Orientierung ergibt im Winter einen höheren Ertrag bei flacherem Jahresverlauf, jedoch ist die Ertragssumme geringer.

(NEP Zürich GmbH 2011)

5.6.3 Wärmeträgermedium Thermoöl

Die benötigten Energieströme im Mitteltemperaturbereich für den Betrieb der ORC-Anlage oder die Anwendungen des Backens und Kochens können im Vergleich zum Niedertemperaturbereich nicht mit der bestehenden Infrastruktur in Wohnhäusern zur Verfügung gestellt

werden, da Wasser aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften bei einer Temperatur von 220 °C nicht drucklos als Wärmeträgermedium genutzt werden kann. Eine Alternative ist Thermoöl, welches bereits seit längerem in der Industrie erfolgreich bei thermischen Prozessen bis 400 °C als Wärmeträgermedium eingesetzt wird. Grundsätzlich ist auch Flüssigsalz als Wärmeträgermedium geeignet. Dieses wird aber hauptsächlich in solarthermischen Kraftwerken bei einem Temperaturbereich über 300 °C verwendet.

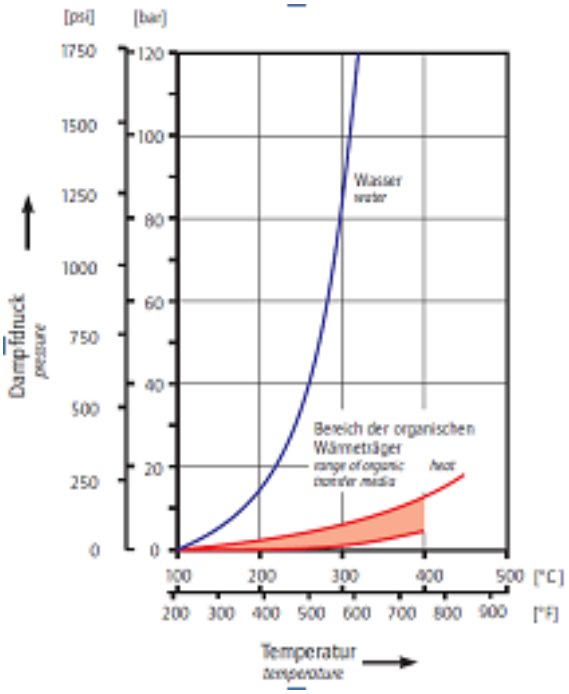


Abbildung 89: Vergleich Dampfdruck Wasser – Öl (HTT, 2011)

Ein entscheidender Vorteil von Thermoöl als organischem Wärmeträger ist, dass es im Vergleich zu Wasser bei einem höheren Temperaturniveau einen deutlich niedrigeren Betriebsdruck hat. Speziell für diesen Anwendungszweck entwickelte Öle befinden sich im unteren Bereich der Bandbreite (roter Bereich) und können für Temperaturen bis zu 400 °C als Wärmeträger eingesetzt werden, ohne dass hohe Dampfdrücke entstehen.
(Bointner et al. 2012)

5.6.3.1 Dichtigkeit und Regelungstechnik

Ein weiterer Punkt, der bei Thermoölen schwierig in den Griff zu bekommen ist, betrifft das Kriechverhalten, das nur durch geschweißte Rohrleitungsverbindungen zu verhindern ist. Natürlich ist abhängig von der Betriebstemperatur auch eine entsprechende Isolierung notwendig, da bei höherer Temperatur des Wärmeträgers auch die Leitungsverluste entsprechend höher sind. Aus diesem Grund sollte der Wärmeerzeuger immer möglichst nah am Speicher bzw. am Ort des Bedarfs liegen, damit die Leitungswege möglichst kurz gehalten werden können. Im Bereich der Armaturen und Einbauten sollten nur jene mit Faltenbalg- sowie Gleitringdichtungen Verwendung finden. (Das Dichtmaterial Silikon ist nur bis 250°C temperaturbeständig.) Einschweißarmaturen haben sich bisher als am besten geeignet erwiesen; auch Sphärengussarmaturen sind durchaus brauchbar. Die zurzeit am Markt erhältlichen Armaturen wurden für die Chemietechnik entwickelt und sind von den Abmessungen

nur bedingt für den Einbau im Einfamilienhaus geeignet. Die Mengenregelung beim Verbraucher erfolgt durch 3-Wege-Ventile.
Ein undichtes System führt zu einer unangenehmen Geruchsbelästigung, die man nur mittels hohen Luftwechsels entsprechend in den Griff bekommt. Im Bereich der Verteiler sind entsprechende Auffangbehälter vorzusehen sowie ein Sammelgefäß für eine Entleerung bei möglichen Reparaturen. Im Fall von erdverlegten Leitungen sollte die Doppelrohrtechnologie zum Einsatz kommen.

5.6.3.2 Materialausdehnung

Aufgrund der hohen Temperaturen ist zum einen ein Ausdehnungsgefäß für den Wärmeträger selbst erforderlich (Ausdehnung bei 300°C ca. 30 %) und zum anderen sind aber auch Materialausdehnungen der Leitungen in der Planung strengstens zu berücksichtigen. Die Leitungen sind entsprechend mit Dehnschenkeln zu versehen. Kompensatoren sind aufgrund der begrenzten Haltbarkeit weitestgehend zu vermeiden. Die Wärmespeicher sind ebenfalls ausreichend zu dimensionieren.

5.6.3.3 Sicherheitstechnik

Die entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen lt. DIN 4754, VDI 3033 sowie Druckbehälterverordnung sind zwingend einzuhalten. Des Weiteren haben die Wartungserfordernisse und die Instandhaltung nach den genannten Richtlinien zu erfolgen. Drei Beispiele sollen die hohen Sicherheitsanforderungen verdeutlichen:

- Bei jeglicher Fehlermeldung ist die Gesamtanlage *auszuschalten*.
- Im Kessel ist unbedingt ein Zwangsumlauf über ein Differenzdruckmanometer sicherzustellen, da andernfalls das Thermoöl bei zu hohen Filmtemperaturen ausgast; d.h. es ist eine turbulente Strömung im Röhrenkessel erforderlich.
- Im Abstand von 20 cm zu den Rohrleitungen dürfen keine brennbaren Materialien (z.B. Holz) vorhanden sein

5.6.3.4 Ausblick für die Umsetzung

Der gesamte Aufbau des Leitungssystem ist im Vergleich zu Systemen mit höheren Betriebsdrücken deutlich einfacher und kann aus weitgehend verfügbaren Komponenten hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil liegt im deutlich geringeren Aufwand für die anfallenden Wartungs- und Reparaturarbeiten. Ein kritischer Punkt für den Einsatz von Thermoölleitungen in urbanen Gebieten ist der benötigte Platzbedarf bei den Leitungen, da aufgrund von Brandschutzbestimmungen Sicherheitsabstände einzuhalten sind. Die erforderliche platzsparende Leitungs- und Anschlusstechnologie fehlt bis dato.

5.6.4 Thermische Speicher

Ein charakteristisches Merkmal für die Speicherung von thermischer Energie im Mitteltemperaturbereich ist, dass es nicht einen optimalen Speicher für alle Anwendungen gibt. Aufgrund der stark variierenden Anforderungsprofile müssen jeweils spezifische, optimale Lösungen (z.B. Art und Anordnung im Bereich der Hydraulik) hinsichtlich Effizienz und Wirtschaftlichkeit gefunden werden.

Eine Möglichkeit zur Bereitstellung der notwendigen thermischen Energie auf entsprechendem Temperaturniveau in diesem Energieversorgungskonzept ist die Verwendung eines sensiblen Wärmespeichers.
Diese Fluidspeicher nutzen ein flüssiges Medium zur Speicherung sensibler/fühlbarer Wärme. Bei diesen Speichertypen kann daher das Arbeitsmedium der Solarkollektoren entweder direkt gespeichert oder die Energie an ein anderes flüssiges Speichermedium übertragen werden. Voraussetzung ist, dass der Siedepunkt des Speichermediums oberhalb der maximalen Betriebstemperatur der Solarkollektoren liegt. Mögliche Speichermedien für diese sind Thermoöle oder Wasser mit entsprechendem Betriebsdruck.
Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz eines Latentwärmespeichers. Mit diesen ist es möglich, große Wärmemengen in einem relativ klein definierten Temperaturbereich zu speichern. Gegenüber konventionellen sensiblen Wärmespeichern sind unter Verwendung von sogenannten Phase-Change-Material- (PCM-)Speichern hohe Energiedichten bei weitgehend konstanter Betriebstemperatur realisierbar. Das wesentliche Problem bei der technischen Umsetzung der Latentwärmespeicher liegt in dem für viele Anwendungen unzureichenden Wärmetransport zwischen dem Speichermedium und dem Wärmeträgerfluid.
(vgl. Tamme, 2005)

Bei einer Gegenüberstellung der verschiedenen Speichertypen bzgl. des Entwicklungsstands wird deutlich, dass die Speicher mit höheren Energiedichten auch einen erhöhten Entwicklungsbedarf haben.

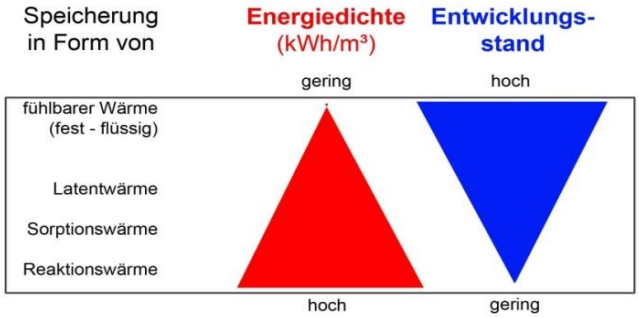


Abbildung 90: Entwicklungsbedarf zum Erreichen höherer Energiedichten (Müller-Steinhagen et al. 2007)

Aufgrund der einfacheren Bauart, der drucklosen Betriebsweise bei entsprechender Wahl des Wärmeträgermediums, des höheren Entwicklungsstandes und des besseren Wärmetransportes zwischen Speichermedium und Wärmeträgerfluid fällt die Wahl auf einen sensiblen thermischen Speicher. Diese lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

- Einstoffspeicher: Der Wärmeträger ist das einzige Speichermaterial
- Zweistoffspeicher: Der Wärmeträger und ein Feststoff füllen je einen Teil des Volumens

Ein weiterer Vorteil für die Verwendung von sensiblen Speichern sind die Investitionskosten, die annähernd proportional zum Speichervolumen sind. Nach aktuellen Recherchen bietet sich für den Anwendungsfall Thermoölkreislauf ein Zweistoffspeicher mit Steinschüttung an, da so die Vorteile des Thermoöls als Wärmeträger, unter Berücksichtigung der großen Volumenausdehnung bei Temperaturzunahme, genutzt werden können. Dieses wirkt sich we-

gen des geringeren Bedarfs an Thermoöl auch positiv auf die Kosten des Wärmeträgers aus. Die wesentlichen Vorteile eines sensiblen Zweistoffspeichers mit Steinschüttung sind:

- Die Zunahme des Volumens mit der Temperatur wird durch den Feststoff gering gehalten.
- Die Anlage funktioniert mit einfachen Materialien und ist unkompliziert im Aufbau.
- Der Speicher arbeitet bei Teilbeladung effizient und kann daher hervorragend mit einer Solaranlage kombiniert werden.

Eine weitere wichtige Entscheidung ist die Wahl der Betriebsweise des Speichers, da mit dieser ebenfalls die Effizienz des Gesamtsystems beeinflusst werden kann. Der Speicher sollte daher als Schichtspeicher betrieben werden, da der Wirkungsgrad von Solarkollektoren umso höher ist, je niedriger die mittlere Temperatur des Kollektors ist. Bei dieser Betriebsweise strömt das heiße Fluid oben in den Speicher und das kalte unten aus dem Speicher. Die Temperaturfront wandert beim Beladen langsam nach unten. Eine Vermischung erfolgt im Idealfall nur durch Wärmeleitung.

Bei Solaranlagen ist jedoch zu beachten, dass am Abend die Ausgangstemperatur des Kollektors zusammen mit der solaren Einstrahlung unter die Temperatur im oberen Speicherbereich sinkt. Solange die Temperatur weiter unten im Speicher nicht unterschritten wird, ist dies unproblematisch und die Pumpe oder der Thermosiphonantrieb läuft weiter, obwohl es zu einer instabilen thermischen Schichtung kommen kann. Je nach Konstruktion des Speichers fällt das kältere Fluid durch die heißen Schichten hindurch oder vermischt sich mit ihnen. Es kommt zu einem radialen Energietransport, einer sogenannten „thermischen Inversion“.

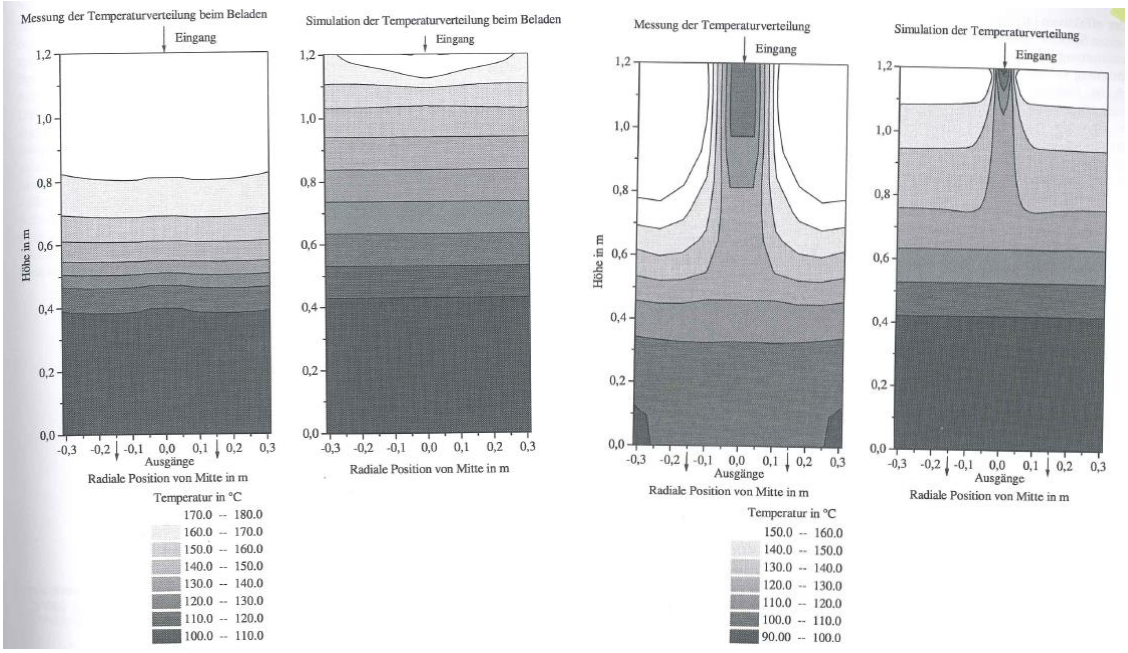


Abbildung 91: Links: Modell Schichtladung mit konstanter Temperaturdifferenz; Rechts: Instabile Schichtung bei thermischer Inversion (Hafner, 1999)

In Schichtspeichern empfiehlt sich daher die Entnahme des Speichermediums in verschiedenen Schichten abhängig vom Bedarf des Verbrauchers bzw. der benötigten Temperatur,

die bereitgestellt werden muss. Eine Regelung muss entscheiden, aus welcher Schicht das Fluid entnommen wird.

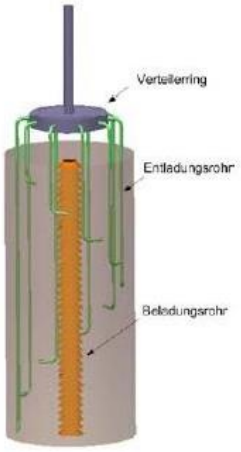


Abbildung 92: Beispiel Schichtspeicher mit zentralem Beladerohr und Entladungsrohren in 10 Höhen (Karlsruher Institut für Technologie, 2010)

Bei der Konzeption des Speichers ist weiters die Integration eines Ausdehnungsgefäßes zu beachten, da sich Thermoöl im Temperaturbereich von 20°C bis 250°C um zirka 20 % gegenüber Raumtemperatur ausdehnt. Dieses kann entweder durch das Freihalten des benötigten Volumens im oberen Teil des Speichers durch ein Schutzgas erfolgen oder durch ein externes Ausdehnungsgefäß. Letzteres ist von der Umsetzung her etwas einfacher zu handhaben, hat aber den Nachteil, dass beim Aufheizen heißes Öl in das Ausdehnungsgefäß gedrückt werden kann und dort abkühlt. Ein externes Ausdehnungsgefäß sollte deshalb immer am kältesten Teil des Systems angeschlossen werden.
(Hafner, 1999)

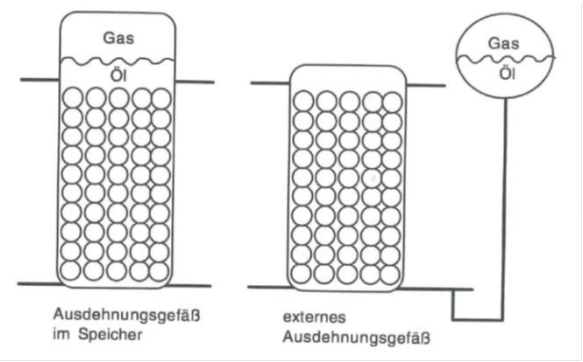


Abbildung 93: Integrationsmöglichkeiten eines Ausdehnungsgefäßes (Hafner, 1999)

5.6.5 Organic Rankine Cycle (ORC-Anlage)

Für die Bereitstellung der benötigten elektrischen (Rest-)Energie soll der Organic Rankine Cycle zum Einsatz kommen. Bei diesem Verfahren wird elektrische Energie kontinuierlich durch thermische Energie entsprechend dem thermodynamischen Kreisprozess nach William J. M. Rankine bereitgestellt. Ein niedrig siedender organischer Stoff dient dabei als Arbeitsmedium anstelle von Wasser, wodurch eine effiziente Nutzung der Wärme auch bei Anlagen mit geringer Leistung (im niedrigen Kilowattbereich bis zum Megawattbereich) ermög-

licht wird. Die dafür notwendige thermische Energie wird über den Mitteltemperaturspeicher bereitgestellt. Aus Biomasse oder solarthermischen Quellen kann daher mit dieser Technologie elektrische Energie erzeugt werden.
(Eneftech 2011)

Für das Energieversorgungskonzept wurde entsprechend den Anforderungen das Produkt ENEFCOGEN-Green der Firma Eneftech ausgewählt, da es für diese Art der Anwendung konzipiert wurde.

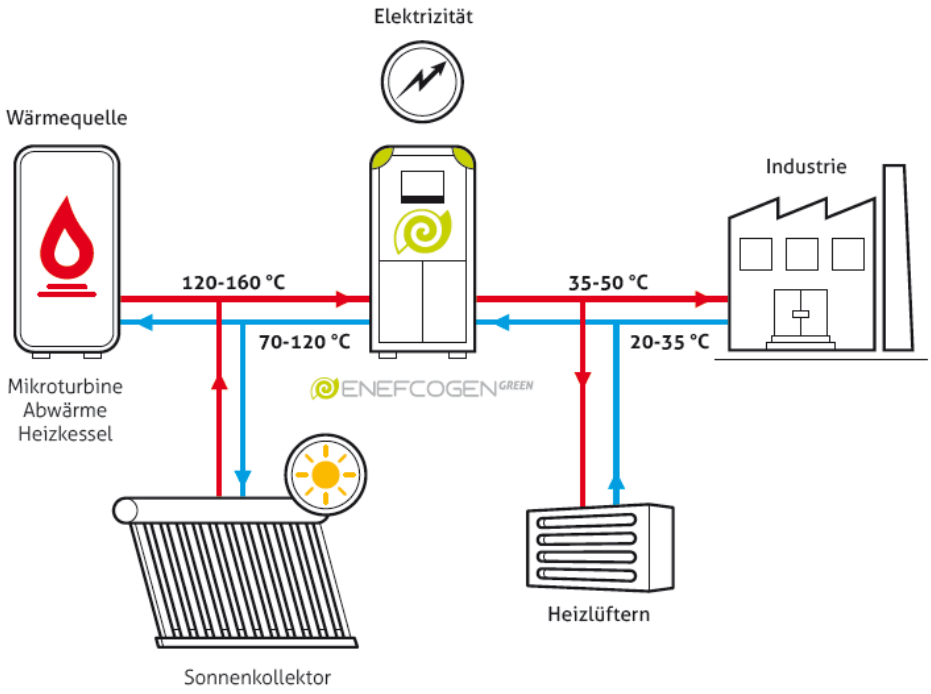


Abbildung 94: Anwendungsbeispiel ENEFCOGEN-Green für Gewerbe und Industrie (Eneftech Innovation SA)

Für die Einbindung in das Energieversorgungskonzept empfiehlt der Hersteller nachfolgende in der Tabelle dargestellte Betriebspunkte. Die notwendige Vorlauftemperatur im Versorgungskreis der ORC-Anlage kann im Rahmen einer gewissen Bandbreite variiert werden. Als Folge würden jedoch auch alle weiteren Temperaturwerte von den angegebenen abweichen. Dieses hätte analog dazu auch einen Einfluss auf den elektrischen Wirkungsgrad.

Tabelle 7: Empfohlene Betriebspunkte für ENEFCOGEN-Green (Eneftech, 2010)

Input heat power (KW)	60
Hot circuit (inlet/outlet)	150/110
Cold circuit (inlet/outlet)	20/40
Electricity produced (KW)	5

Entsprechend dem Anwendungsbeispiel leitet sich für das Energieversorgungskonzept Folgendes ab:

- Wärmequelle = Biomasse-Backup
- Sonnenkollektor = Parabolrinnenkollektoren
- Mitteltemperaturspeicher als Energiepuffer
- Vorlauftemperatur Sekundärkreis sollte bis zu 60°C erreichen!
- Der Sekundärkreis deckt direkt den unteren Bereich des Niedertemperaturspeichers.

Ein Vorteil dieser Technologie ist die modulare Bauweise, wodurch diese gut mit den weiteren Komponenten des Energieversorgungssystems kombinierbar ist. Allerdings ist dafür eine notwendige konstante Versorgung mit thermischer Energie in ausreichender Menge und auf hohem Temperaturniveau – abhängig vom Anlagentyp – bei diesen sogenannten Mikro-ORC-Anlagen erforderlich, da der elektrische Wirkungsgrad bei marktreifen Anlagen unter 10 % liegt. Für einen elektrischen Output von 5 kW ist daher thermische Energie von mehr als 50 kW erforderlich. Die Umsetzung nach dem Konzept des energieautonomen Gebäudes ist in dieser Form daher nur im Rahmen des geplanten Siedlungsverbandes möglich.

5.6.6 Alternative Technologien und Komponenten für die Energiekonversion

Nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kann elektrische und thermische Energie innerhalb eines Prozesses bereitgestellt werden. In der Regel werden KWK-Anlagen wärmegeführt. Diese Anlagen können nach folgenden Kriterien eingeteilt werden:

- Brennstoff wie Biomasse, Biogas, Solarwärme oder Abwärme
- Technologien wie Biomassevergasung, ORC-Anlage, Biogas-BHKW, Dampfgenerator-KWK oder Brennstoffzellen-KWK)
- Motoren wie Stirlingmotor, Verbrennungsmotor

Diese Technologien sind nachfolgend hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile für den Einsatz im Zero Carbon Village charakterisiert.

Verbrennungsmotor

Prinzip:

Ein Kraftstoff wird mit angesaugter Luft vermischt und zur Explosion gebracht. Der verursachte Überdruck bewegt einen Kolben.

Vorteile:

- hohe Leistung
- eine ausgereifte Technologie
- seit einigen Jahren serienreif und mit Gas- bzw. Ölverbrennung erhältlich

Nachteile:

- Wartungsaufwand (Ölwechsel)
- Höhere Emissionen
- Hohe Lärmentwicklung

Stirlingmotor

Prinzip:

Arbeitsgas wird in einem abgeschlossenen Raum von außen erhitzt und gekühlt. Durch die unterschiedliche Ausdehnung des Gases wird ein Kolben bewegt.

Vorteile:

- geschlossener Gaskreislauf – von außen wird nur Wärme zugeführt
- leise und effizient
- wegen äußerer Verbrennung fast wartungsfrei
- Erzeugung von kleinen Leistungen (ab 1 kW), die auch in einem Einfamilienhaus benötigt werden
- serienreife Geräte mit Gasbefeuerung oder Pellet-Variante erhältlich
- Jeder Energieträger kommt als Verbrennungsmaterial/Wärmelieferant infrage
- Die Brennereinheit ist wie jedes Heizgerät einer normalen Wartung zu unterziehen, ohne zusätzliche Kosten durch Verschleiß- oder Schmiermittel

Biomassevergasung (Holzvergasung)

Vorteile:

- Mögliche Nutzung lokaler Brennstoffe (z.B. Holzhackschnitzel)
- CO_2-neutral, da die CO_2-Menge, die bei der Verbrennung frei wird, gleich der Menge ist, welche die Bäume umgesetzt haben
- Das Holz steht das ganze Jahr zur Verfügung
- Existierende Produkte in kleinen Maßstab (z.B. 10kW el.)
- Es ist möglich, Brennstoff selbst zu produzieren

Dampfgenerator-KWK

Prinzip:

Wasserdampf, der durch das Erhitzen von Wasser produziert wird, treibt den Kolben eines Generators an.

- Gasbetriebene Dampfgeneratoren mit kleinen Leistungen sind schon erhältlich

Nachteile:

- hohe Anschaffungskosten
- hohe Wartungskosten

Brennstoffzellen-KWK

Prinzip:

Wasserstoff wird durch einen elektrochemischen Prozess direkt in Strom umgewandelt. Der bei der Gewinnung von Wasserstoff aus Gas entstehende Dampf wird zum Heizen verwendet. Diese Technologie ist noch in Entwicklung.

5.7 Berechnung der Energiebilanz (Input–Output)

Die Energiebilanz soll der Abschätzung der Machbarkeit des Energieversorgungskonzeptes sowie einer anschließenden Planung einer Testanlage mit detaillierten Simulationen dienen. Die Modellrechnung basiert auf den Klimadaten des Standortes in Niederösterreich. Da die Kalkulation auf der Abbildung von modular aufgebauten Einzelkomponenten beruht und mit Klimadatensätzen arbeitet, kann sie relativ einfach auch für zukünftige Projekte an anderen

Standorten mit abweichender Siedlungsgröße und abweichenden Rahmenbedingungen adaptiert werden.
Der Energiebedarf der Wohneinheiten basiert auf der Sicherstellung der definierten Energiedienstleistungen. Ausgangsbasis hierfür sind 4-Personen-Haushalte im verdichteten Wohnbau, welche mit dem Ziel der Energie- und Ressourceneffizienz auch in Bezug auf Bebauungsdichte, Geschoßanzahl, Ausrichtung und A/V-Verhältnis optimiert werden. In der Siedlung sollen zumindest 50 Wohneinheiten integriert werden. Für das zusätzlich zu integrierende Gemeinschaftszentrum mit einer Ausstellungsfläche sowie einem Gastronomiebereich mit Großküche, welcher für die BewohnerInnen und BesucherInnen der Siedlung nutzbar sein soll, wurden ausgehend von den Haushalten und basierend auf den erforderlichen Energiedienstleistungen charakteristische Energieverbräuche gemeinsam mit ExpertInnen festgelegt. Das Parabolrinnenkollektorfeld, die Biomasse-Anlage, die ORC-Anlage sowie der Mitteltemperaturspeicher sind an einem zentralen Energieversorgungsstandort zusammengefasst. Für die Niedertemperatur-Wasserspeicher ist eine dezentrale Anordnung vorgesehen. Für die Modellrechnung wird der Einfachheit halber mit einem Gesamtspeicher für die Niedertemperaturanlage gerechnet. Zum Ausgleich werden jedoch erhöhte Leitungsverluste, entsprechend der längeren Transferleitung, berücksichtigt. Anhand der Kalkulation sollen folgende Aspekte in Hinblick auf die Umsetzung geklärt werden:
Ein maximaler solarer Deckungsanteil, unter gleichzeitiger Berücksichtigung wirtschaftlichen Überlegungen, wird angestrebt. Die Energiebilanz soll zeigen, wie die Verteilung der Energieerträge aussieht und wie hoch der solare Deckungsanteil ist. Für den Einsatz von Thermoöl-Steinspeichern soll die Frage beantwortet werden, mit welchen Speichergrößen zu rechnen ist und wie die Ladezustände zu bewerten sind.
Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der ORC-Anlage großen Einfluss auf die Energiebilanz haben, da hier der Großteil des Energieflusses umgesetzt wird.
Die Verwendung von thermischen Speichern soll die Abdeckung von Lastspitzen, entsprechend den vorgegebenen Bedarfswerten, sicherstellen. Die Sicherstellung der Abdeckung der Bedarfswerte wird durch die Kalkulation überprüft. Hinsichtlich der möglichen Grunddeckung des thermischen Energiebedarfes auf niedrigem Temperaturniveau soll der Einsatz von dezentral angeordneten Vakuumröhrenkollektoren als dritte Energieversorgungskomponente überprüft werden.

5.7.1 Grundlagen der Modellrechnung

Ein Stundenbilanzmodel stellt auf Basis einer quasistationären Bilanzierung Erträge, Bedarfswerte und Verluste einander gegenüber. Die Solarerträge werden aufgrund der Klimadaten für den Standort sowie der Wirkungsgradkennlinie berechnet. Die Bedarfswerte für verschiedene Energiedienstleistungen können wie folgt berücksichtigt werden:

- Kühlschrank und Warmwasserbedarf: Annahme eines durchschnittlichen konstanten Verbrauches
- Kochen und Backen sowie elektrische Haushaltsgeräte: definierter Wochengang
- Beleuchtung und Heizenergiebedarf: Jahresgang in Abhängigkeit von den Klimawerten

Leitungs- und Speicherverluste fließen ebenfalls in die Modellrechnung ein. Die Berechnung der Speicherbilanzen erfolgt im Stundenintervall. Zur Berechnung werden die Stundenwerte des Klimadatensatzes für das Referenzjahr 2009 im niederösterreichischen Traismauer herangezogen. Die Standortparameter können für verschiedene Simulationsszenarien angepasst werden. Für das Areal in Traismauer gelten folgende Werte:

- geographische Breite: 48,34°N
- geographische Länge: -15,79°O
- Stundenwerte der Klimadaten

Tabelle 8: Auszug Klimadaten Traismauer, Niederösterreich (Meteonorm 2009)

Durchschnittliche Jahresaußen-temperatur:	Globalstrahlungs-summe auf die Horizontale:	Strahlungssumme der Direktstrahlung auf die Horizontale:	Strahlungssumme der Direktnormalstrahlung:
9,75 °C	1.137 kWh/m²a	534 kWh/m²a	1.008 kWh/m²a

Bedarfswerte in einem Wochengang am Beispiel des elektrischen Energiebedarfs (ohne Beleuchtung):

Energiedienstleistungen werden definiert und deren Bedarf festgelegt

Tabelle 9: Übersicht über elektrische Energiedienstleistungen einer Wohneinheit

Gesamte Nutzfläche	120 m²		
durchs. Personenanzahl Besucherzeit	4 Personen		
Geschirrspülen pro Anwendung	0,55 kWh	lt. PHPP	≙ 143 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Häufigkeit pro Person	65 x/Jahr	lt. PHPP	
Häufigkeit pro Woche	1,25 x/Woche		
Geschirrspülen verbessert	85%	lt. Schätzung teamgmi	≙ 122 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Waschmaschine pro Person und Anw.	0,61 kWh	lt. PHPP	≙ 138 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Häufigkeit pro Person	57 x/Jahr	lt. PHPP	
Häufigkeit pro Woche	1,10 x/Woche		
Waschmaschine verbessert	85%	lt. Schätzung teamgmi	≙ 117 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Trockner pro Person und Anw.	3,5	lt. PHPP	≙ 798 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Häufigkeit pro Person	57	lt. PHPP	nur Wäscheleine!
Häufigkeit pro Woche	1,096153846		
Kleingeräte pro Person und Jahr	50,00 kWh	lt. PHPP	≙ 200 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Kleingeräte	183 W		= (50 kWh.a * 4 P) / (365 d * 3 h/d)
Kleingeräte verbessert	85%	lt. Schätzung teamgmi	≙ 170 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Elektronik pro Jahr	44,00 kWh	lt. PHPP	≙ 176 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Elektronik (TV, Hi-Fi, PC)	161 W		= (44 kWh.a * 4 P) / (365 d * 3 h/d)
Elektronik (TV, Hi-Fi, PC) verbessert	85%	lt. Schätzung teamgmi	≙ 150 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Beleuchtung pro Jahr	128,00 kWh	lt. PHPP (100% Energiesparlampen)	
Beleuchtung	0,49 W/m²		= 128 kWh.a / (365 d * 120 m² * 6 h/d)
Beleuchtung verbessert	90%	lt. Schätzung teamgmi	≙ 115 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Hilfsstrom HT	3,00 kWh/m².a	lt. PHPP	≙ 360 kWh/a für 4 Personen, 120 m²
Hilfsstrom verbessert	60%	lt. Schätzung teamgmi	≙ 216 kWh/a für 4 Personen, 120 m²

Die Energieverbräuche werden in Stundenwerte (=Leistung) umgerechnet

Tabelle 10: Leistungswerte für die elektrischen Energiedienstleistungen einer Wohneinheit

Stundenwerte Bedarf		Kommentar
	Wh_{el}/h	
Geschirrspüler	779	3 x pro Woche
Waschmaschine	1.127	2 x pro Woche
Trockner	0	Wäscheleine
Kleingeräte	155	3 Stunden pro Tag
Elektronik (TV, Hi-Fi, PC	137	3 Stunden pro Tag
Beleuchtung	53	abh. von Jahreszeit
Hilfsstrom HT	25	Jahresschnitt pro Stunde

Übertragung der Stundenwerte in einen Wochengang

Die festgelegten Stundenwerte für die 50 Wohneinheiten werden entsprechend den definierten Nutzungszeiten in einen Wochenverlauf und anschließend zusammen mit den nutzungsabhängigen Bedarfswerten des Gemeinschaftszentrums (definiert durch die Öffnungszeiten) in die Energiebilanz übertragen.

Tabelle 11: Wochengang der elektrischen Leistungswerte der Siedlung

Siedlung Wohnbauten mit 50 Einheiten + Gemeindezentrum							
Stromverbrauch (ohne Beleuchtung) WOCHENGANG							
kWh_{el}	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5	Tag 6	Tag 7
01:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
02:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
03:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
04:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
05:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
06:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
07:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
08:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
09:00	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	1,23
10:00	5,93	5,93	7,71	7,71	7,71	9,48	4,78
11:00	1,23	1,23	3,01	3,01	3,01	4,78	4,78
12:00	3,01	3,01	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
13:00	3,01	3,01	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
14:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	4,78	4,78
15:00	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	9,48	4,78
16:00	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	9,48	4,78
17:00	1,23	1,23	1,23	7,73	7,73	11,28	11,28
18:00	7,73	7,73	9,50	9,50	9,50	11,28	11,28
19:00	9,50	9,50	11,28	11,28	9,50	11,28	11,28
20:00	17,60	17,60	19,38	19,38	17,60	19,38	19,38
21:00	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	19,38	19,38
22:00	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83
23:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
00:00	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
kWh_{el}/d	112,25	112,25	124,67	131,16	127,61	154,24	135,45

Auswertung:		
	898	kWh/w
	128	kWh/d
	46.677	kWh/a

Bedarfswerte im Jahresgang am Beispiel der Beleuchtung

Die Beleuchtungsstunden werden in Abhängigkeit von der Tageslänge festgelegt. Der Umfang und die Dauer der Beleuchtung resultieren aus den festgelegten Nutzerprofilen in der Siedlung.

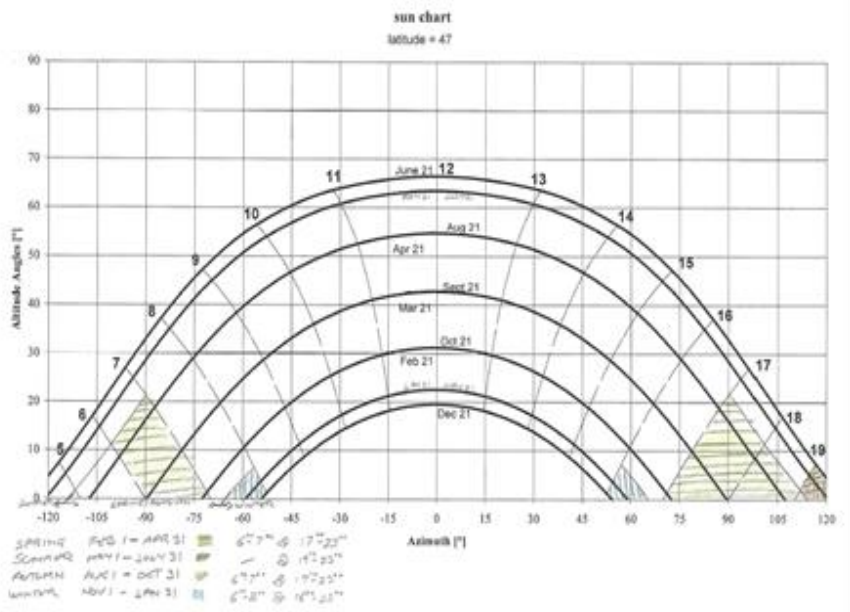


Abbildung 95: Sonnenstandsdiagramm als Grundlage für Beleuchtungsstunden (Grafik: teamgmi)

5.7.2 Durchführung der Berechnung

Ausgehend von den festgelegten Rahmenbedingungen und der Zielsetzung der Berechnung erfolgt in diesem Kapitel eine Beschreibung, wie die verwendeten Komponenten und vorhandenen Verlustfaktoren in die Modellrechnung eingebunden wurden.

5.7.2.1 Komponenten zur Erzeugung thermischer Energie

Parabolrinnenkollektor

Die Berechnung der Solarerträge für den Parabolrinnenkollektor erfolgt mittels Sonnenstand, der Einstrahlungsdaten für den Standort und der Kennlinie des Produktes. Aber auch der Anteil an Solarstrahlung (Direktstrahlung), welcher von den Kollektoren absorbiert werden kann, sowie die berechneten Daten für eine zweidimensionale Kollektornachführung werden in die Bilanzierung aufgenommen.

Tabelle 12: Festgelegte Werte Parabolrinnenkollektor

Parabolrinnen - Kollektor	
Aperturfläche pro Modul	36,90 m²
Anzahl Module	30 Stk
Aperturfläche gesamt	1.107,00 m²

Die Simulation erfolgte mit dem Parabolrinnenkollektor PolyTrough 1800 der Firma NEP-Solar mit einer Einbindung in Ost/West-Orientierung. Dieses ermöglicht einen höheren Ertrag im Winter und dadurch einen flacheren (gleichmäßig verteilten) Jahresverlauf, da sowohl der Strom- als auch der Wärmebedarf im Winter höher ist als im Sommer. Die zweidimensionale Nachführung des Parabolrinnenkollektors (Drehung um eine Achse) beruht auf Formeln der analytischen Geometrie und wird an dieser Stelle nicht weiter erörtert. Die Abminderungsfaktoren (in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz, der Direktnormalstrahlung und des Einstrahlwinkels) liegen in durch polynomische Formeln angenäherter Form vor und werden so im Modell berücksichtigt.

Vakuumröhrenkollektor

Für die Abbildung der nichtkonzentrierenden, solarthermischen Komponente wurden beispielhafte Kennwerte aus der Literatur herangezogen. Die Nachbildung des Wirkungsgradverhaltens basiert auf folgender Formel:

$$\eta_K = \eta_0 - \frac{k_0 \cdot (\vartheta_K - \vartheta_U) + k_1 \cdot (\vartheta_K - \vartheta_U)^2}{E}$$

η_K …….. resultierender Kollektorwirkungsgrad [-]

ϑ_K …….. mittlere Kollektortemperatur [K]

ϑ_U …….. Umgebungstemperatur [K]

E …… auf den Kollektor auftretende solare Bestrahlungsstärke (Globalstrahlung) [W/m²]

η_0 …….. Konversionsfaktor, spiegelt den optischen Wirkungsgrad des Kollektors wieder [-]

k_0 ……..linearer thermischer Verlustkoeffizient, beschreibt annähernd die Konvektionsverluste des Kollektors [-]

k_1 ……..quadratischer thermischer Verlustkoeffizient, beschreibt annähernd die Strahlungswärmeverluste des Kollektors [-]

(Quaschning, 2009, Seite 106)

Die thermischen Verluste nehmen mit steigender Temperaturdifferenz vom Kollektor zur Umgebung stark zu. Bei geringen solaren Bestrahlungsstärken sinkt der Wirkungsgrad. Die Nachbildung des dynamischen Verhaltens der mittleren Kollektortemperatur, in Abhängigkeit vom Ladezustand des Speichers, dem Einstrahlungswert und der Außentemperatur, ist nicht möglich, weshalb ein konstanter Wert festgelegt wurde. Aufgrund der Komplexität bzgl. der Abbildung von Einstrahlungswerten für eine optimal geneigte Fläche in dieser Modellrechnung erfolgte eine entsprechende Annäherung durch Erhöhung der Globalstrahlungswerte um 20 Prozent.

Tabelle 13: Eingabewerte Vakuumröhrenkollektor

Kollektor Speicher C		Kommentar
Kollektortemperatur	90 °C	maximale Speichertemperatur NTS
Konversionsfaktor	0,80	exemplarisch [Quaschning 2009]
linearer therm. Verlustkoeffizient	1,100	exemplarisch [Quaschning 2009]
quadratischer therm. Verlustkoeffizient	0,008	exemplarisch [Quaschning 2009]
Aperturfläche pro Modul	2,00 m²	Annahme
Anzahl Module	108 Stk	2 Module pro Wohneinheit; 8 für Gemeindez.
Aperturfläche gesamt	216,00 m²	50 Haushalte + 1 Gemeindezentrum

Biomasse-Backup

Für die rechnerische Abschätzung der benötigten Energiemenge und der installierten Leistung des Backup-Systems sind keine Kennwerte erforderlich. Der notwendige Netto-Energiebedarf ergibt sich aus der fehlenden Deckung im Mitteltemperaturspeicher. Für die exemplarische Berechnung hat sich eine installierte Leistung von 120 Kilowatt als ausrei-

chend erwiesen. Bei der Auslegung des Biomassekessels sind entsprechend anfallende Verlustfaktoren zu beachten.

5.7.2.2 Komponente zur Erzeugung elektrischer Energie

Zur Auslegung einer ORC-Anlage liegen elektrische Energiebedarfswerte und vom Hersteller empfohlene Betriebspunkte vor.

Tabelle 14: Eingabewerte ORC-Anlage

ORC			Kommentar
erforderliche Wärmeleistung		60,00 kW	Modul: Enefcogen 010GRE-01
Eingangstemperatur		150 °C	Quelle für alle Werte: [Eneftech, 2011]
Ausgangstemperatur		110 °C	
	Stromleistung	5,00 kW	
	Wirkungsgrad	8,3%	inkl. 5% Verluste

5.7.2.3 Speichersystem

Beschreibung der Abbildung des Mitteltemperaturspeichers A. Die folgenden Schritte sind für alle weiteren Speicher analog.

Festlegung Temperaturniveaus

Tabelle 15: Auszug Berechnungsblatt "Speicher" – Temperaturniveau

Temperaturniveaus				Kommentar
Parabolrinnen	$t_{Kollektor}$	220,0 °C		= Maximaltemperatur "PolyThrough 1800"
	t_{voll}	220,0 °C	Speicher_a	
	t_{VL}	180,0 °C		Kochen & Backen
	Spreizung	60,0 °C		60°C geschätzt lt. GrAT
	t_{RL}	120,0 °C		
	t_{leer}	20,0 °C		= T_{Raum}
	t_{Raum}	20,0 °C		= Temperatur Aufstellungsraum Speicher

Integrierung Stoffwerte

Tabelle 16: Auszug Berechnungsblatt „Speicher" – Stoffwerte

Thermischer Speicher			Kommentar
Masse Thermoöl	40%		[Hafner, 1999]
Dichte Termoöl	722 kg/m³		Werte untere Entnahmetemperatur: 180°C
Wärmekapazität Termoöl	2,649 kJ/kgK	Speicher_a	Fragol "UCOTHERM FG-8" [Fragol, 2010]
Masse Stein	60%		[Hafner, 1999]
Dichte Stein	2.200 kg/m³		Wert annähernd konstant
Wärmekapazität Stein	1,000 kJ/kgK	Speicher a & b	Wert annähernd konstant

Resultierende Wärmekapazität

Tabelle 17: Auszug Berechnungsblatt „Speicher" – Wärmekapazität

Thermischer Speicher			Kommentar
Masse Speicher/d	8.057 kg	Speicher_a	= Q / (c * DT)
Volumen Speicher/d	5,01 m³		= m / r
Speichergröße	3,0 Tage		nutzbarer Energieinhalt
Speichermasse	24.170 kg		
Speichervolumen	**15,02 m³**		
$Energieinhalt_{nutz}$ Speicher	446 kWh		= m * c * ΔT /Energieinhalt in Bezug zu t_{VL}
$Energieinhalt_{gesamt}$ Speicher	2.229 kWh		= m * c * ΔT /Energieinhalt in Bezug zu t_{Raum}

Speicherdimensionierung

Tabelle 18: Auszug Berechnungsblatt „Speicher“ – Dimensionierung

Thermischer Speicher			Kommentar
Speicherhöhe	0,98 m	Sp_a	2% Zuschlag nicht optimaler Zylinder
Speicheroberfläche	29,40 m²		nur Mantel und Oberseite
Speicherverhältnis H:D	2,7	gesamt	gilt für beide Speicherbereiche
Speicherdurchmesser	4,47 m		gilt für beide Speicherbereiche

5.7.2.4 Output-Komponenten

Kochen und Backen

Für die in der Großküche des Gemeinschaftszentrums eingesetzten thermisch versorgten Endgeräte wurden nachfolgende Werte definiert.

Tabelle 19: Thermisch betriebene Geräte in der Großküche

gemeinsam beschlossen:	Bezeichnung	Leitstungsbedarf [kW]	geschrätzte Laufzeit [h]	Leistungsbedarf [kW] vollast
thermisch Mitteltemperatur:	**Gesamte Bh:**			**20,00**
100°C bis 180°C	großer Kochherd	7,00	1,00	7,00
	Backrohr	5,00	1,00	5,00
	Grillplatte	8,00	1,00	8,00

Entsprechend dem formulierten Nutzungsprofil werden die Verbrauchswerte in einen Wochenverlauf übertragen.

Tabelle 20: Wochengang der thermischen Leistungswerte

Wärmeverbrauch thermisch Mitteltemperatur WOCHENGANG							
kWhtherm	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5	Tag 6	Tag 7
01:00							
02:00							
03:00							
04:00							
05:00							
06:00							
07:00							
08:00							
09:00							
10:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
11:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
12:00	10,00	10,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
13:00	10,00	10,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
14:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
15:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
16:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
17:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
18:00			10,00	10,00	10,00	20,00	20,00
19:00	10,00	10,00	20,00	20,00	10,00	20,00	20,00
20:00	10,00	10,00	20,00	20,00	10,00	20,00	20,00
21:00						20,00	20,00
22:00							
23:00							
00:00							
kWhtherm/d	40,00	40,00	150,00	150,00	130,00	240,00	240,00

Auswertung:		
	990	kWh/w
	141	kWh/d
	51480	kWh/a

Im Rahmen des Nutzungsprofiles wurden hierzu nachfolgende Voll- und Teillastperioden formuliert.

Tabelle 21: Nutzungsperioden Besucherzentrum

	Benutzung voll durch Besucher oder Besucher und Bewohner
	Benutzung halb durch Besucher
	Benutzung voll durch Bewohner
	Benutzung halb durch Bewohner
Montag, Dienstag..... Ruhetag Besucherzentrum	

Solarthermischer Gefrier- und Kühlschrank

Im Bereich der Kühl- und Gefrierschränke erfolgt die Ermittlung der Bedarfswerte nicht auf Basis der österreichischen Statistikdaten, da ein verbessertes Ammoniak-Wasser-Absorptions-Kühlsystem zum Einsatz kommen soll. Diese Kühl- und Gefrierkombination wird derzeit im Projekt „Zero CO_2 Cooler“[13] entwickelt und kann thermisch über einen Warmwasseranschluss betrieben werden.

Für die Berechnung wurden folgende Kennwerte verwendet:

- Benötigte Heizenergie mit einer Temperatur von 70°C
- Jahresarbeitszahl (solar) = 0,8

(Abschätzung aufgrund der Angabe der Energieeffizienz → Leistungszahl = 0,8 – 1,2)

(www.solarfrost.com)

Die Wärmeverluste für die Energiebereitstellung werden mit 25 Prozent konstant angenommen. Auf Grundlage von 50 Wohneinheiten sowie dem Gemeinschaftszentrum (4-facher Bedarfswert einer Wohneinheit) wurde für die gesamte Siedlung ein konstanter Leistungswert von 6,724 kW berechnet.

$$Kühlenergiebedarf = elektrischer_Strombedarf \cdot Jahresarbeitszahl = 700kWh$$

$$\frac{Kühlenergiebedarf}{Jarhesarbeitszahl(solar)} = \frac{700kWh}{0{,}8} = 875kWh \cdot Verlustfaktor(1{,}25) = 1094kWh$$

$$1094kWh \cdot 54 \div 365 \div 24 = 6{,}724kW$$

Brauchwasser

Auf Basis der österreichischen Statistikdaten bzgl. Brauchwasser unter Einbeziehung von Wärmeverlusten im Rahmen der Bereitstellung wurde für die 50 Wohneinheiten und das Gemeinschaftszentrum (4-facher Bedarfswert einer Wohneinheit) ein konstanter Leistungswert von 21,9 kW berechnet.

Heizung

Die Errichtung sämtlicher Gebäude in Passivhaus-Bauweise ist in diesem Projekt Voraussetzung, weshalb folgende Kennwerte verwendet werden:

- Heizenergiebedarf (HEB) < 10 kWh/m^{2}a
- Maximale Heizlast = 10 W/m^{2}a (festgelegter Wert bei der Annahme von Außentemperaturen unter 1°C)

[13] Zero CO_2 Cooler – der Kühlschrank mit Warmwasseranschluss, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020

5.7.2.5 Energieverluste

Aufgrund der hohen Temperaturen sind die Wärmeverluste im gesamten System und ganz besonders im Leitungsnetz möglichst auf ein Minimum zu reduzieren. Eine Rohrleitung mit 25 mm Durchmesser und einer Dämmschale mit 100 mm Außendurchmesser beispielsweise verliert bei einer Mediumstemperatur von 400°C etwa 18 W/lfm an den umgebenden Raum bei 20°C. Dieser Wärmeverlust entspricht einem Temperaturverlust von etwa 0,1°C/lfm. Demzufolge sollte z.B. die Zirkulationspumpe nur bei Bedarf aktiviert werden. Bei einer besichtigten Bestandsanlage entsprach die Stärke der Dämmschicht für die Leitungen in etwa 150 % des Außendurchmessers der Rohre. Eine ausreichende Wärmedämmung ist auch aufgrund der Staubverschwelung bei Oberflächentemperaturen von über 60°C gefordert.
Aufgrund der Schwierigkeit, das dynamische Verhalten der Temperaturniveaus im Speicherbetrieb in der Modellrechnung nachzubilden, wurden zweckmäßig exemplarische Berechnungen auf der Grundlage von ausgewählten Berechnungsformeln zur Bestimmung der Speicherwärmeverluste in Excel durchgeführt. Die Größenordnung der Verlustleistungen wurde anschließend anhand der genaueren exemplarischen Berechnung überprüft.

Berechnung der Leitungswärmeverluste (exemplarisch)

Festgelegte Parameter
Die Berechnungen der Wärmeverluste im Bereich der Mitteltemperaturrohrleitungen erfolgten spezifisch für ein 1 m langes bodenverlegtes Rohr bei einer Verlegetiefe von 1 m. Die rechnerische Abbildung wurde anhand einer Stahlrohrleitung mit entsprechender Wärmedämmung bei folgenden Parametern durchgeführt:

- Erdtemperatur: 8°C
- Wärmeleitfähigkeit Erde: 1,2 W/mK
- Wärmeleitfähigkeit Wärmedämmung: 0,04 W/mK
- Rohrleitung: Stahl, Nominaldurchmesser: DN40, Außendurchmesser 48,3 mm, Dicke der Stahlwand: 3,2 mm

(Füreder, 2010; KE Kelit, 2011)

Allgemeine Formel für den Wärmeverlust von erdverlegten Rohren

$$\dot{q} = k_R \cdot \Delta\vartheta = \frac{\Delta\vartheta}{R_R}$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta\vartheta}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{WD}} \cdot \ln\frac{da}{di} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_E} \cdot \ln\frac{4 \cdot h}{d_a}}$$

(Füreder, 2010)

Legende inklusive Berechnungsstartwerte

Zeichen	Bezeichnung	Einheit	Rechenwert
$\dot{q}$	spezifischer Wärmeverlust	W/m	
$\Delta\vartheta$	Temperaturunterschied Rohr (innen) zu Umgebung	K	192
k_R	spezifische Wärmedurchgangszahl	W/mK	
R_R	Wärmedurchgangswiderstand	mK/W	
λ_E	Wärmeleitzahl Erde	W/mK	1,2
h	Verlegetiefe	m	1
λ_{WD}	Wärmeleitzahl Dämmmaterial	W/mK	0,04
da	Durchmesser außen	m	0,1483
di	Durchmesser innen (Stahlrohr)	m	0,0483

Exemplarisches Berechnungsergebnis DN 40, Fluidtemperatur: 200°C
(Verbindungsleitung Kollektorfeld zu Mitteltemperaturspeicher)

$$\dot{q} = \frac{192}{\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 0{,}04}\cdot\ln\frac{0{,}1483}{0{,}0483}+\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 1{,}2}\cdot\ln\frac{4\cdot 1}{0{,}1483}} = \underline{\underline{39{,}1795867\,\frac{W}{m}}}$$

Exemplarisches Berechnungsergebnis DN 25, Fluidtemperatur: 150°C
(Verbindungsleitung Mitteltemperaturspeicher zu Großküche)

$$\dot{q} = \frac{142}{\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 0{,}04}\cdot\ln\frac{0{,}125}{0{,}025}+\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 1{,}2}\cdot\ln\frac{4\cdot 1}{0{,}125}} = \underline{\underline{20{,}69\,\frac{W}{m}}}$$

Tabelle 22: Festgelegte Parameter für Leitungswärmeverluste

Leitungsverluste		Kommentar
Verluste Rohrleitungen DN25	0,020 kW	W/lfm bei 150°C, erdverlegt, 5cm WD
Verluste Rohrleitungen DN40	0,039 kW	W/lfm bei 200°C, erdverlegt, 5cm WD
Länge Rohrleitung Kochen und Backen	40 m	
Länge Rohrleitung Parabolrinnen	40 m	
Verluste Rohrleitung ORC MTS	0,020 kW	DN 25: W/lfm bei 150°C, erdverlegt, 5cm WD
Länge Rohrleitung ORC MTS	10 m	
Verluste Rohrleitung ORC NTS	0,005 kW	DN 25: W/lfm bei 40°C, erdverlegt, 5cm WD
Länge Rohrleitung ORC NTS	1000 m	Verbindungsleitung, dezentrale Speicher

Berechnung der Speicherwärmeverluste (exemplarisch)

Festgelegte Parameter

Für den Mitteltemperaturspeicher wird von der Verwendung eines zylinderförmigen, hoch gelagerten Behälters ausgegangen, dessen Boden von Luft umgeben ist. Bei vollständiger Ladung verfügt der Speicher über eine gleichmäßig ausgebildete Temperaturschichte von 190°C. Für die Berechnungen wurden folgende Parameter festgelegt:

- Speicherdaten:

Volumen	V	= 189 m³
Speicherverhältnis	h:d	= 2,7
Speicherdurchmesser	d	= 4,47 m
Speicherhöhe	h	= 12,31 m
Wärmedämmung WD		= 50 cm
Wärmeleitfähigkeit	λ	= 0,035 W/mK

- Umgebungstemperatur = 20°C

Allgemeine Formeln für die Berechnung

Wärmeübergangszahl zwischen Speicheroberfläche und Luft (Näherungsgleichung)

$\alpha = 2{,}3 \cdot \Delta\vartheta^{\frac{1}{4}}$ bei waagrechter Wand, Wärmeabgabe nach oben → Behälterdeckel

$\alpha = 1{,}7 \cdot \Delta\vartheta^{\frac{1}{4}}$ bei senkrechter Wand, Wärmeabgabe nach unten → Behältermantel

$\alpha = 2{,}2 \cdot \Delta\vartheta^{\frac{1}{4}}$ bei waagrechter Wand, Wärmeabgabe zur Seite → Behälterboden

Mantelverluste

$$Q_{Mantel} = k' \cdot h_S \cdot \Delta\vartheta$$

$$k' = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{WD}} \cdot \ln\frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha \cdot D}}$$

Hinweis: Unter Abwandlung der Berechnungsschritte a und b lässt sich auch der Wärmeverlust einer freiliegenden Rohrleitung berechnen.

Verluste von Boden und Deckel (getrennte Berechnung)

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta\vartheta$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{Dämmstärke_[m]}{\lambda_{WD}}}$$

$$A = r^2 \cdot \pi$$

Legende

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
α	Wärmeübergangszahl, abhängig vom Bauteilorientierung	W/mK
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz zwischen	K

	Rohr (innen) und Umgebung	
Q_{Mantel}	Wärmeverluste Speichermantel	W
k'	Wärmedurchgangszahl Speichermantel	W/mK
h_S	Speicherhöhe	m
D	Außendurchmesser der Dämmung	m
d	Außendurchmesser des ungedämmten Speichers	m
Q	Wärmeverluste Boden / Deckel	W
U	Wärmedurchgangswert	W/m²K
λ_{WD}	Wärmeleitzahl der Dämmschicht	W/mK
A	Fläche Boden / Deckel (ungedämmt)	m²

(Wiesner, 2011)

Exemplarische Berechnungsergebnisse

Tabelle 23: Exemplarische Berechnungsergebnisse der Speicherverluste

Bezeichnung	**Rechenergebnis**
α Mantel	6,14 W/mK
α Boden	7,94 W/mK
α Deckel	8,30 W/mK
k'	0,83 W/mK
Q **Mantel**	**1.742 W**
U Boden	0,0694 W/m²K
Q **Boden**	**185 W**
U Deckel	0,0646 W/m²K
Q **Deckel**	**172 W**
Q **Gesamt**	**2.102 W**

5.7.3 Ergebnisse der exemplarischen Berechnung

Auf Grundlage der Kennzahlen und Betriebswerte für die Systemkomponenten wurden mit der Modellrechnung verschiedene Simulationen durchgerechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt. Die dafür notwendigen Parameter wie Modulanzahl der Kollektoren oder Kapazität des Backups wurden auf Basis nachfolgender Ziele gewählt:

- Abdeckung aller thermischer Bedarfswerte (inklusive Verbrauchsspitzen)
- Hoher solarer Deckungsanteil
- Kontinuierliche Bereitstellung von Elektrizität
- Verminderung der Überschüsse aus dem Energieversorgungssystem
- Optimierte Speicherwärmeverluste
- Realistische Leitungswärmeverluste

5.7.3.1 Energieerträge

Für die Simulation wurde eine Parabolrinnen-Anlage mit 30 Modulen (Aperturfläche 1107 m²) für einen entsprechenden solaren Deckungsanteil auf hohem Temperaturniveau sowie Vakuumröhrenkollektoren von ca. 4 m^2 pro Wohneinheit ausgewählt. Mittels der Modellrechnung wurden für den Standort Traismauer nachfolgende Jahreserträge und Deckungsanteile für ein Referenzjahr ermittelt.

Tabelle 24: Rechnerische Auswertung der Energieversorgung

Energieversorgungskomponente	Jahresertrag		Abschnitt	Aperturfläche	Platzverbrauch
Parabolrinnen (30 Module)	289 MWh	36%	MTS	1107 m²	3321 m² Land
Biomasse-Backup	377 MWh	46%	MTS	-	ca. 100 m² Heizraum
Vakuumröhrenkollektoren	145 MWh	18%	NTS	216 m²	ca. 300m² Dach
Gesamt	811 MWh	100%			
Solarer Deckungsanteil gesamt:		**54%**			
Solarer Deckungsanteil Mitteltemperatur:		**43%**			

Für den Standort Traismauer ergibt sich daraus folgende Verteilung der Energieerträge:

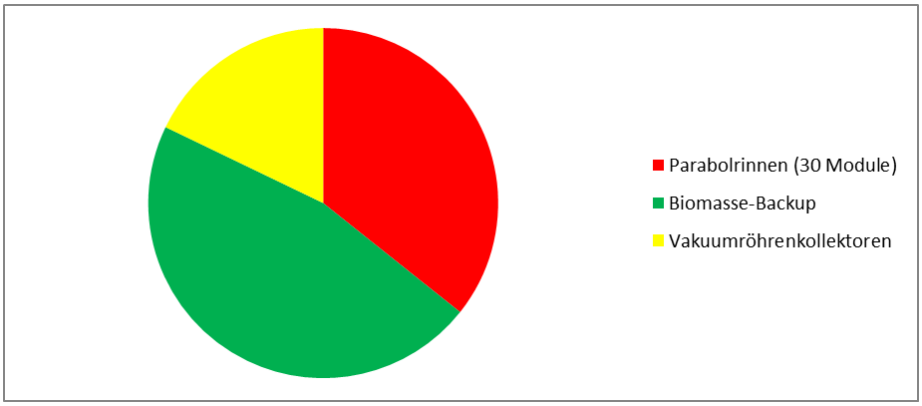


Abbildung 96: Verteilung der Energieerträge

Nur durch eine relativ groß dimensionierte Parabolrinnen-Anlage ist es möglich, einen entsprechenden hohen solaren Deckungsanteil beim Mitteltemperatursystem zu erreichen. Der Aufwand für die Biomasseheizung ist im Vergleich zu den Kollektoren dann verhältnismäßig

klein. Die für den Betrieb notwendige Backup-Energie entspricht einem durchgängigen Vollastbetrieb der Biomasseheizung während einem Drittel des Jahres. Die Anfahrtshäufigkeit sollte jedoch in jedem Fall durch eine entsprechende Regelungstechnik minimiert werden. Die Installation von zirka 4 Quadratmeter Vakuumröhrenkollektoren pro Wohneinheit ist in einem realistischen Umfang.

Tabelle 25: Rechnerische Analyse zu den Parabolrinnen-Erträgen

pro m² Aperturfläche	Gesamt	
524 kWh	580 MWh	jährliche Direktstrahlung auf Horizontale
993 kWh	1100 MWh	jährliche Direktstrahlung bei optimaler Nachführung
263 kWh	291 MWh	jährliche nutzbare Sonnenenergie Parabolrinnenkollektor
Flächeneffizienz:	26%	bezogen auf Aperturfläche
	11%	bezogen auf bebaute Fläche

An Tagen einer hohen solaren Einstrahlung mit großem Direktanteil sind durch eine Nachführung große Strahlungsgewinne möglich. So lassen sich im Sommer durch eine Nachführung an sonnigen Tagen etwa 50 Prozent und im Winter bis über 300 Prozent an Strahlungsgewinnen gegenüber der horizontalen Fläche erzielen. Trotzdem werden die wesentlichen Mehrgewinne durch die Nachführung im Sommer erzielt, da hier zum einen der absolute Energiegewinn höher ist als im Winter und zum anderen der Anteil trüber Tage im Winter deutlich höher ist. (Quaschning, 2009)

Die Gesamteffizienz, bezogen auf den Direktstrahlungseintrag auf die bebaute horizontale Fläche, würde bei einer reinen Nutzung der Solarerträge für die Elektrizitätserzeugung im Rahmen eines ORC-Prozesses, mit dem in der Modellrechnung gegebenen Betriebspunkt (elektrischer Wirkungsgrad = 8,4%), unter einem Prozent liegen.

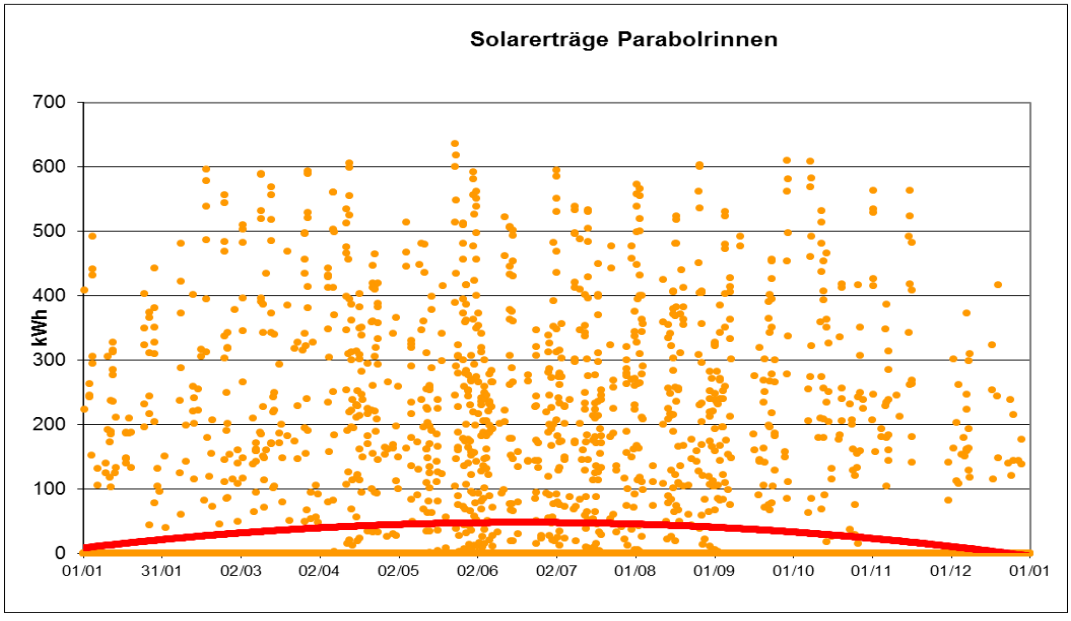


Abbildung 97: Verteilung der solaren, stündlichen Ertragswerte vom Kollektorfeld

Bei einer Betrachtung der solaren Gewinne auf Basis von Stundenwerten wird durch die polynomische Trendlinie eine kontinuierliche Verteilung über das gesamte Jahr ersichtlich. Theoretisch könnte also die hohe, nicht kontinuierlich verfügbare Leistungskapazität (über 600 kW) durch eine verhältnismäßig kleine, kontinuierlich betriebene Energiequelle (z.B. einen Biomassekessel mit 50 kW) ersetzt werden. Bei einer genauen Betrachtung der solaren Erträge ist ein absolutes Maximum im Juli zu erkennen. Dennoch gibt es auch im Sommer aufgrund von Schlechtwetterperioden Zeiten, in denen die solaren Erträge allein nicht ausreichend sind. Die Überbrückung dieser solarthermischen Engpässe ist durch eine Vergrößerung des Speichers nicht möglich, da ein größerer Speicher auch erhöhte Wärmeverluste zur Folge hat. Die Dimensionierung des Speichers auf Basis eines dreitägigen Bedarfswertes als Nutzerenergiegehalt hat sich als sinnvoll erwiesen. Ein Backup-System ist in jedem Fall erforderlich, auch bei Standorten mit höheren solaren Erträgen.
Die nachfolgend abgebildete fehlende Deckung (Stundenwerte) des Speichers A, bei ausschließlicher Betrachtung der Solarerträge, ist Grundlage für den erforderlichen Energieeintrag über das Biomasse-Backup-System. Bei der Annahme von einer Leistungskapazität von 120 kW für diese kommt es an 3 Tagen im Jahr (siehe Diagramm) zu einer leichten Unterversorgung des Speichers. Das definierte erforderliche Temperaturniveau zum Kochen und Backen wird an diesen Tagen nicht erreicht. Die Installation einer Notversorgung für Lastspitzen ist daher denkbar.
Im Mai/Juni hingegen reichen die Solarerträge aufgrund einer lang anhaltenden Schönwetterperiode zur Deckung der Bedarfswerte aus. In diesem Zeitraum kann auf ein Backup verzichtet werden. Für Standorte mit höheren solaren Erträgen kann dementsprechend auch ein höherer Deckungsanteil erzielt werden.

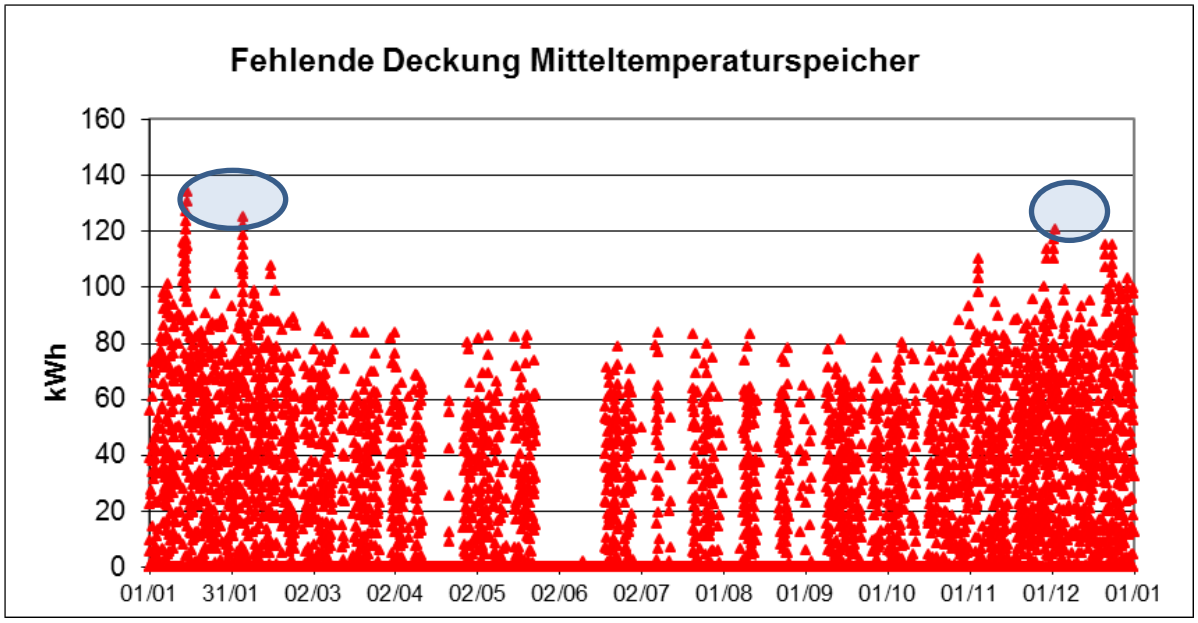


Abbildung 98: Fehlende Deckung im Mitteltemperaturspeicher bei ausschließlicher Nutzung von Solarerträgen

5.7.3.2 Dimensionierung des Thermoöl-Steinspeichers

Die Gesamtgröße des Thermoöl-Steinspeichers bei einer Dimensionierung des Nutzenergieinhaltes auf den 3-fachen Tageswert der entsprechenden Bedarfswerte beträgt 189 m^3. Das entspricht einer anteiligen Größe von 3,5 m^3 pro 4-Personen-Haushalt bei 54 Einheiten. Der

Betrieb der ORC-Anlage erfordert damit die 10-fache Menge des thermischen Energiebedarfes der Großküche. Allerdings ist hier die Nutzung thermischer Energie auf niedrigem Temperaturniveau nachgelagert. Der Bedarf an hochwertiger thermischer Energie für das Backup im Niedertemperaturbereich liegt bei 53 MWh.

Tabelle 26: Übersicht Energiefluss der eingetragenen thermischen Energie auf Mitteltemperaturniveau

Jahresnergieumsatz thermische Energie - Mitteltemperatur			
Bereich	**Energie**	**Größe**	**Beschreibung**
Speicherbereich A	**60 MWh**	**15m³**	thermischer Energiespeicher
Kochen und Backen	52 MWh		Energieoutput
Verluste	8 MWh		Leitungswärmeverluste Kochen und Backen, Leitungswärmeverluste Parabolrinnen, Speicherwärmeverluste
Speicherbereich B	**543 MWh**	**174m³**	thermischer Energiespeicher
ORC Energienutzung	215 MWh		Energieoutput
ORC Verluste und Überschuss	311 MWh		Energieoutput
Verluste	17 MWh		Leitungswärmeverluste ORC, Speicherwärmeverluste
Speicherbereich C	**24 MWh**	**108m³**	*Fehlende Deckung (inklusive Verlustfaktoren)*
Speicherbereich D	**21 MWh**	**108m³**	*Fehlende Deckung (inklusive Verlustfaktoren)*
Ertrag Parabolrinnen + Biomasse	**647 MWh**		**Energieinput über 180°C**

Die Größenordnung der Komponenten für den Mitteltemperaturbereich (Energieerzeugung, Speicher, Leitungen) wird bei diesem Energieversorgungssystem vom Energiebedarf der ORC-Anlage bestimmt. Die kumulierten Jahresenergiemengen, welche über den Mitteltemperaturspeicher umgesetzt werden, sind in der Tabelle 26 zusammengefasst.

Die Deckung (Stundenwerte) des Speicherbereiches A basiert zwischen 0 und 25 % überwiegend auf den Energieeinträgen der Biomasse-Anlage. Die Werte oberhalb der 25 % bilden die verteilten Erträge des Parabolrinnenkollektors entsprechend der verfügbaren Direktstrahlung ab. Ein Überschuss im Speicherbereich A bedingt durch Schönwetterperioden hat eine Deckung des Speicherbereiches B mit Solarerträgen zur Folge. Diese Perioden sind in der Abbildung als grüne Werte zu erkennen und entsprechen dem Schichtungsverhalten von Thermoöl-Feststoffspeichern. Das Biomasse-Backup verhindert eine Unterversorgung in den Speichern, sodass eine kontinuierliche Abdeckung aller Bedarfswerte ermöglicht wird. Anfang Juni (orange Markierung) ist der gesamte Speicher vollständig geladen. Die überschüssigen Solarerträge von ca. 2 MWh können in dieser Phase nicht genutzt werden. Hier müssen die Parabolspiegel, einmalig im Jahr, aus der Sonneneinstrahlungsrichtung gedreht werden. Im Winter hingegen kann durch die Nachführung der konzentrierenden solarthermischen Anlage bei entsprechenden Schönwetterperioden dafür entsprechende Energiemengen in das Speichersystem eingetragen werden.

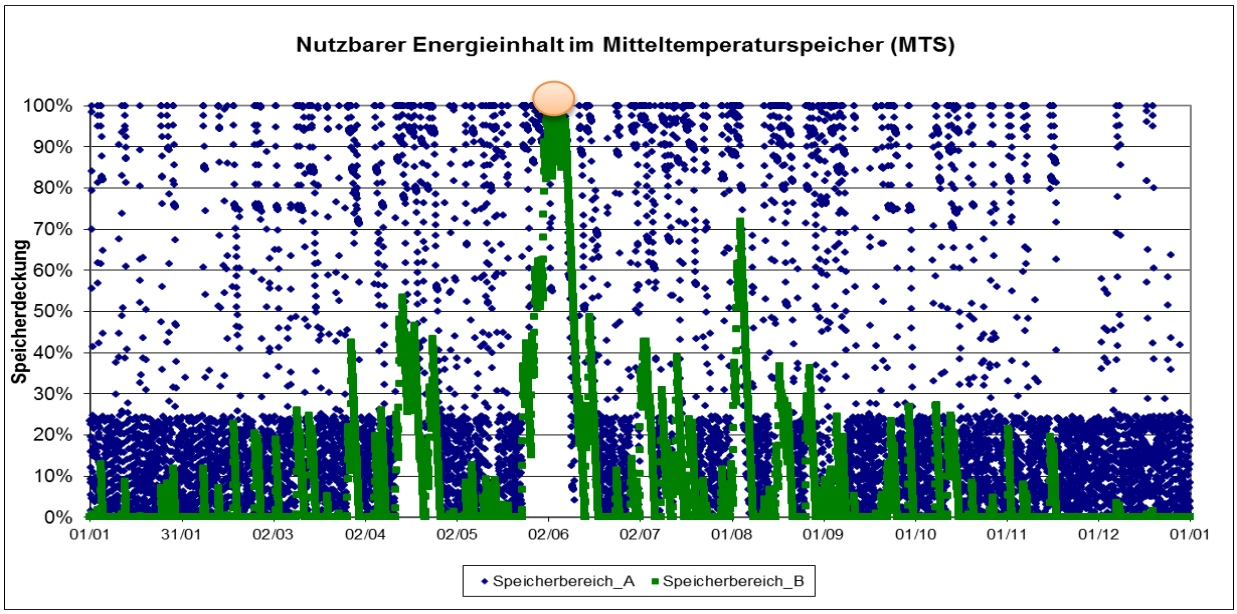


Abbildung 99: Deckung des Thermoöl-Steinspeichers im Jahresverlauf

5.7.3.3 Energiebilanz der ORC-Anlage

In diesem Energieversorgungssystem wird der Großteil der Energiemenge über die ORC-Anlage umgesetzt. Die Energiebilanz dieser „Schlüsseltechnologie“ ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst und in der Abbildung (Verteilung der „Energieströme ORC“ nach Verwertungskriterien) grafisch dargestellt.

Tabelle 27: Energiebilanz der ORC-Anlage

Energieströme ORC	**absolut**	**relativ zu Energieinput**
thermischer Energieinput Primärkreis	**526 MWh**	**100,0%**
Leitungsverluste	2 MWh	0,3%
elektrischer Energieoutput	**44 MWh**	**8,3%**
Konversionsverluste	26 MWh	5,0%
thermischer Energienutzung Niedertemperatur	190 MWh	36,1%
Leitungsverluste	40 MWh	7,7%
thermischer Energieüberschuss Niedertemperatur	224 MWh	42,6%
Summe Energienutzung	**233 MWh**	**44,4%**
Bedarf Elektrizität	**54 MWh**	**10,2%**
Deckungsanteil Elektrizität	**81%**	

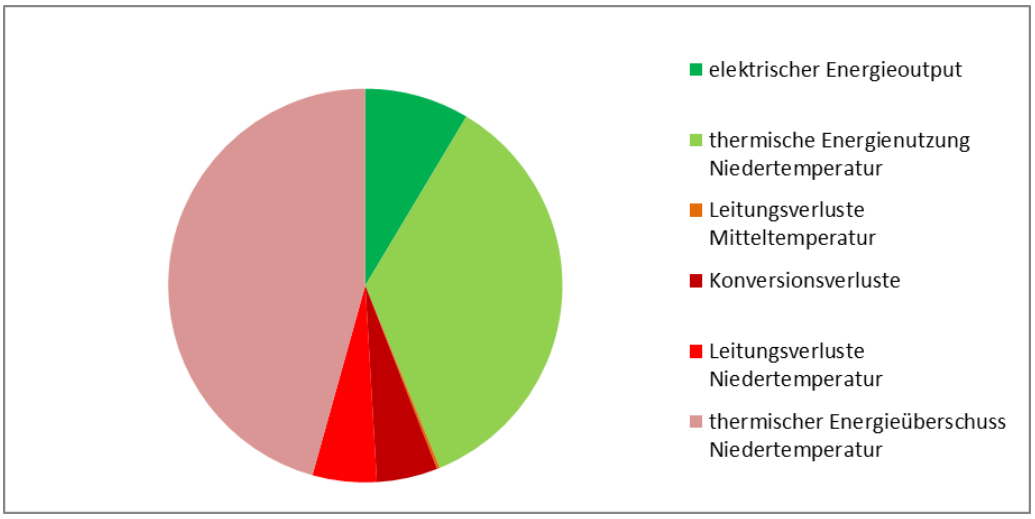


Abbildung 100: Verteilung der „Energieströme ORC“ nach Verwertungskategorien

Der elektrische Energieoutput basiert auf einer kontinuierlichen Leistung von 5 KW. Entsprechend der durchgeführten Modellrechnung werden jedoch 50 Prozent der von der ORC-Anlage konsumierten Energie keinem gezielten energetischen Nutzen zugeführt. Für die Umsetzung ist in jedem Fall eine Effizienzsteigerung erforderlich. Im praktischen Betrieb gibt es jedoch eine Reihe von Faktoren wie z.B. Wartungsperioden oder einen optimierten Sommer-/Winterbetriebspunkt, welche den Ertrag beeinflussen können, aber in der Modellrechnung nicht abgebildet werden können. Für eine genauere Auslegung der Systemkomponenten müssen weitere Simulationen ausgehend von den Ergebnissen der Modellrechnung durchgeführt werden.

5.7.3.4 Abdeckung der Bedarfswerte

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, erfolgte die Dimensionierung des Energieversorgungssystems unter der Voraussetzung, sämtliche thermischen Verbraucher inklusive Verbrauchsspitzen abzudecken. Einzig an 3 Tagen im Jahr ist das Kochen und Backen nur eingeschränkt möglich. Auf Basis der ermittelten Werte lassen sich die Energieerträge der Mitteltemperaturanlage wie folgt den Bedarfswerten zuordnen.

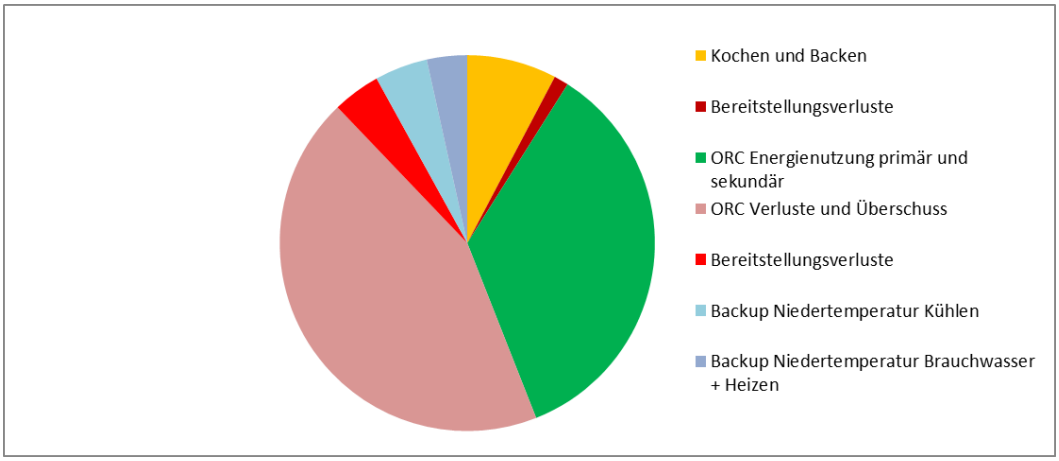


Abbildung 101: Verteilung Energiebedarf Mitteltemperatur

Dem steht die Verteilung der Energieerträge nach den Versorgungskomponenten gegenüber.

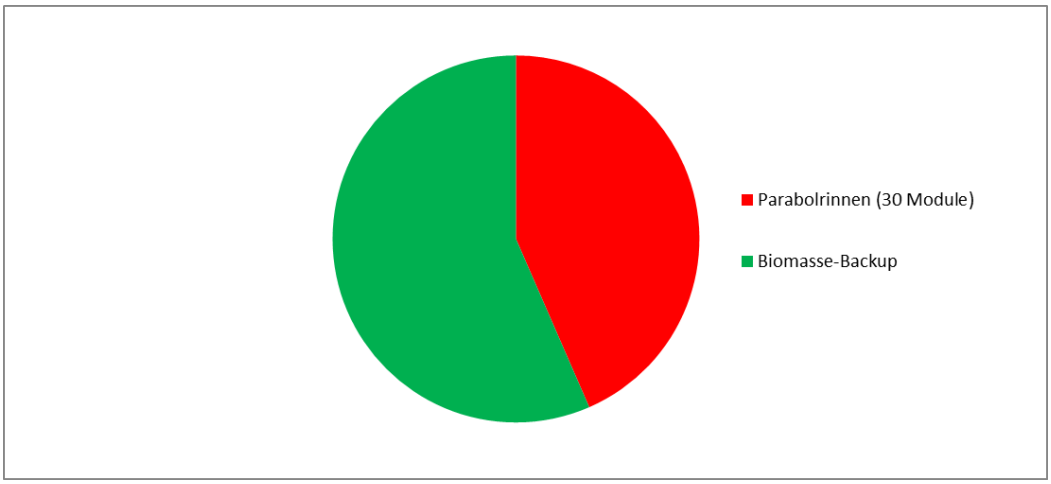


Abbildung 102: Vergleich thermische Energieerträge Mitteltemperatur

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die Deckung des Netto-Energiebedarfs für Kochen, Backen, Elektrizität, Kühlbedarf, Brauchwasser und Heizung die Jahressumme der solaren Erträge ausreichend ist. Aufgrund der Bereitstellungsverluste und der entstehenden Energieüberschüsse ist jedoch ein höherer Gesamtenergieeintrag in die Mitteltemperaturanlage notwendig.

Für einen effizienten Betrieb der Anlage ist in jedem Fall eine Reduzierung der thermischen Energieüberschüsse vorzusehen bzw. müssen diese einem gezielten Nutzen zugeführt werden, und auch ein Anschluss an das öffentliche Netz zur Sicherstellung der benötigten elektrischen Energie zu jedem Zeitpunkt könnte eine Option sein.

5.7.3.5 Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren

Abschließend ist bzgl. der Berechnungen hinzuzufügen, dass sich der Einsatz von dezentral angeordneten, nichtkonzentrierenden, solarthermischen Kollektoren als notwendig erwiesen hat. Bei Installation von 2 Modulen pro Wohneinheit (entspricht 4 Quadratmeter Aperturfläche) wird der solare Deckungsanteil des Gesamtsystems merklich erhöht. Auf diese Weise können 18 % der kumulierten Jahreserträge des Energieversorgungssystems bereitgestellt werden.

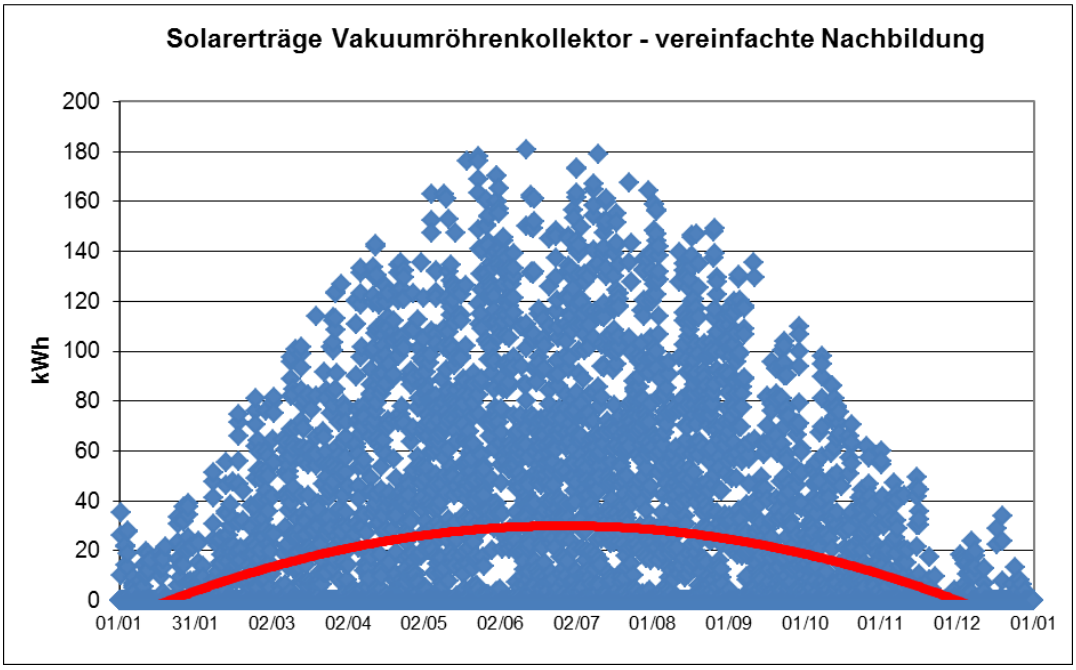


Abbildung 103: Verteilung der solaren, stündlichen Ertragswerte der Vakuumröhrenkollektoren

Wie an den Ertrags-Stundenwerten ersichtlich, sind die in der Modellrechnung erzielten Wirkungsgrade stark von der Außentemperatur abhängig. Hierbei ist anzumerken, dass dies auf eine vereinfachte Nachbildung zurückzuführen ist. In den Berechnungen (Excel-Kalkulation) war es nicht möglich, den dynamischen Verlauf der mittleren Kollektortemperatur (abhängig von Speichertemperatur, Außentemperatur und Einstrahlung) nachzubilden. Des Weiteren basiert die Berechnung auf den um 20 Prozent erhöhten Globalstrahlungswerten, um die Einstrahlungswerte für eine optimal geneigte Fläche anzunähern. Der erzielte Ertragswert von 671 Kilowattstunden liegt, verglichen mit den Erträgen von Haushaltsanlagen, im oberen Bereich. Diese gute Anlagenauslastung ist darauf zurückzuführen, dass die Abnahme der Solarerträge ohne Einschränkung möglich ist und daher keine Anlagenstagnation eintritt. In weiterer Folge ist eine exakte Berechnung mit einer Simulationssoftware, verbunden mit einer externen Nachbildung der gesamten Niedertemperaturspeicheranlage inklusive Bedarfswerte, vorgesehen.

Tabelle 28: Rechnerische Analyse zu den solaren Einträgen in der Niedertemperaturanlage

pro m^2 Aperturfläche	Gesamt:	
1.141 kWh	246 MWh	jährliche Globalstrahlung auf Horizontale
1.369 kWh	296 MWh	jährliche Globalstrahlung geneigte Fläche
671 kWh	145 MWh	jährliche nutzbare Sonnenenergie Vakuumröhrenkollektor
Flächeneffizienz:	48,978%	bezogen auf Aperturfläche

Eine Veränderung des nutzbaren thermischen Energieinhaltes ist ausschließlich von den Solarerträgen der installierten Vakuumröhrenkollektoren abhängig. Der thermische Energietransfer vom Mitteltemperaturspeicher in den Speicher C und die Nutzung der ORC-Abwärme im Speicher D wirken jeweils als Backup. Dieses Backup wird bei einem Absinken

des vorangehenden Stundenwertes der nutzbaren Speicherdeckung unter 0 % aktiviert. Es hat jedoch keine Erhöhung der Speicherladung zur Folge, da diese thermische Energiemenge auch gleichzeitig der fehlenden Deckung, basierend auf den stündlichen Bedarfswerten, entspricht. Die Einstellung einer konstant höheren Deckung der Speicherbereiche ist möglich, aufgrund der ebenfalls zu erwartenden höheren Speicherwärmeverluste jedoch nicht unbedingt vorteilhaft. Für eine optimale Einstellung sollte eine dynamische Speichersimulation durchgeführt werden. In der Abbildung ist ebenfalls zu erkennen, dass bei einer vollen Ladung des Speichers C der Speicher D mit thermischer Energie gedeckt wird.

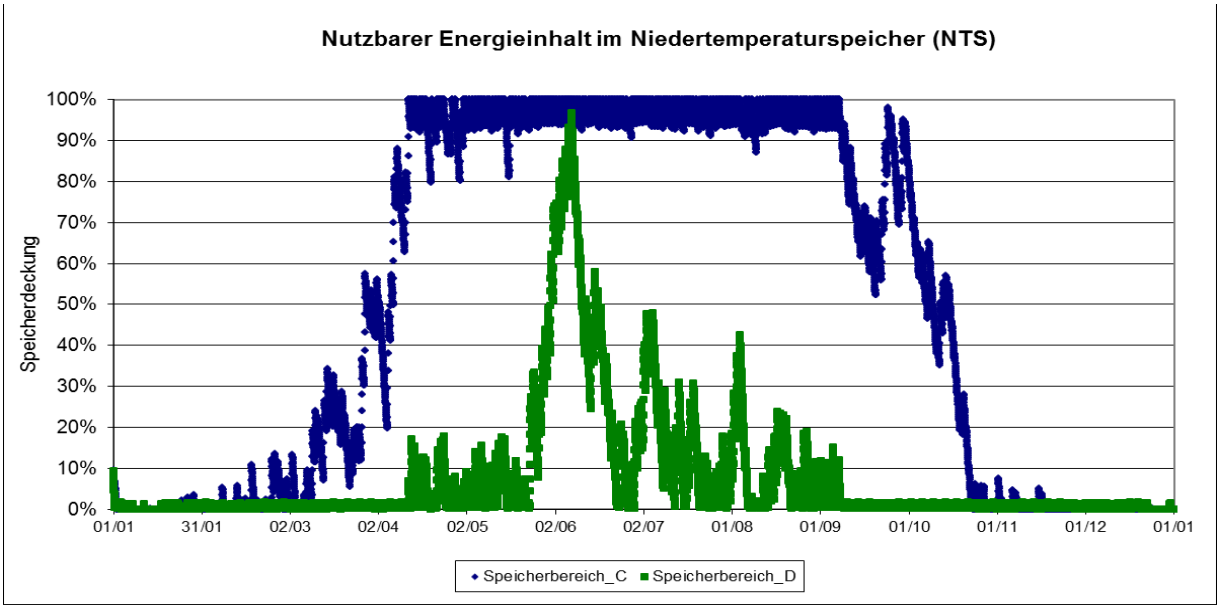


Abbildung 104: Deckung des Niedertemperaturspeichers im Jahresverlauf

Ein thermischer Energietransfer vom Mitteltemperaturspeicher zum Niedertemperaturspeicher ist nur dann notwendig, wenn die Solarerträge der Vakuumröhrenkollektoren, in Kombination mit dem thermischen Energieeintrag der ORC-Anlage, nicht den Bedarf decken. In diesem Fall ist von April bis Oktober kein Energietransfer notwendig. Die Wertehäufungen in den Wintermonaten sind auf die Außentemperaturen zurückzuführen, da der Verlauf des Heizenergiebedarfes in der Simulation von den Stundenwerten der Außentemperatur abhängig gemacht wurde. In der Praxis kann jedoch von einer stabileren Werteverteilung durch eine entsprechend vorhandene Regelungstechnik ausgegangen werden. Um eine verlustbehaftete Transferleitung ganz zu vermeiden, könnte alternativ eine handelsübliche Kleinfeuerungsanlage (beispielsweise Biogasbrenner) als Notversorgung im Winter dienen.

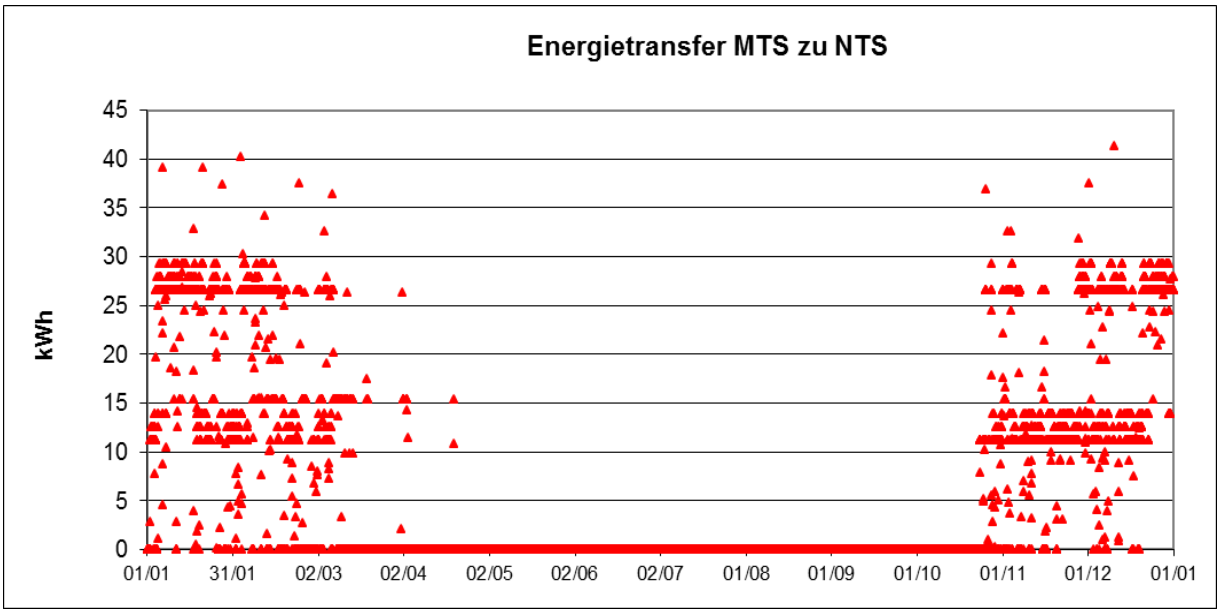


Abbildung 105: Jahresverlauf der stündlichen Energietransferwerte

5.8 Regelung und Steuerung des Systems

Die Regelung von Energieversorgung und Energieverbrauch soll das Angebot an Solareinstrahlung so gut wie möglich für die jeweils benötigten Dienstleistungen nutzbar machen. Dazu gehören auf der einen Seite verbraucherseitige Maßnahmen (Demand Side Management), der an den Energieverbrauchern im Haushalt und den NutzerInnen ansetzt, und auf der anderen Seite die Regelung aufseiten der Energiebereitstellung.

5.8.1 Verbraucherseitige Maßnahmen – Demand Side Management

Transparenz – educational energy design

Das Nutzerverhalten kann durch Transparenz beeinflusst werden. Oft steht ein erhöhter Komfort (jederzeit individuell wählbar) im Widerspruch zu Energieeffizienz. Erhält der Nutzer unmittelbar bei Aktivierung eines Services Feedback über Verbrauch und Energieeffizienz, so wird dem Handeln eine Bewusstseinskomponente hinzugefügt. Der Nutzer kann sich entscheiden, ob der gewünschte Komfort in einem angemessenen Verhältnis zum Energieverbrauch steht. Bei zu seltenem Feedback (Erhalt einer Jahresabrechnung) ist die Verbindung zwischen dem eigenen Verhalten und dem Verbrauch nicht eindeutig ersichtlich.

Automatisches Standby – Aus

Unbenutzte Services und Standby-Funktion sollten eliminiert werden (zum Beispiel durch automatische Stromlosschaltung von unbenutzten Kreisen am Verteiler). Es gibt ebenso bereits Produkte am Markt, die diesen Aspekt berücksichtigen: Eine selbstlernende Zirkulationspumpe schaltet z.B. nach Tages- und Wochenprogramm die Warmwasserzirkulation ein bzw. aus.

Nachfragemanagement nach Angebot

Ein weiterer praktischer Vorschlag zur Erhöhung der Energieeffizienz besteht darin, die Energie zu nutzen, wenn diese verfügbar ist. Im konkreten Projekt kann das anhand des Beispiels Waschmaschine so umgesetzt werden, dass die Waschmaschine durch den Nut-

zer in der Früh gefüllt und eingeschaltet wird. Die Regelung nimmt erst dann den Waschvorgang vor, wenn ausreichend Strom und Warmwasser verfügbar sind. D.h. die Unterdeckung wird durch eine intelligente Regelung reduziert.

5.8.2 Regelungsfunktionen im Wärmeerzeugungssystem

Ziel der Regelungsstrategie ist es, die Energienachfrage so zu bedienen, dass eine möglichst hohe Deckung der Nachfrage durch das Angebot Einstrahlung genutzt werden kann.

Datenpunkte Außenklima:

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
Tamb	Außentemperatur	°C
Ig	globale Einstrahlung	W/m2
Id	direkte Einstrahlung	W/m2
wforecast	Wetterprognose	0|1

Datenpunkte Solarsystem:

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
T7	Rücklauf-Temperatur	
T10-T19	Systemtemperaturen Energiezentrale	°C
T20-T25	Systemtemperaturen Mitteltemperatur- Speicher	
T30	Systemtemperatur Extern, Wohneinheit	
Ax	Ausgang Pumpe x AUS|EIN n=constant	0|1
Ay	Ausgang Pumpe y AUS-EIN n=variabel	0-10
n	Pumpendrehzahl	rpm
Vz	Ausgang Umschaltventil z	0|1

Regelung Kollektorkreis Mitteltemperatur:

Die Regelungsstrategie des Kollektorkreises Mitteltemperatur gibt der am Kollektor gewonnenen Wärme Priorität gegenüber der Biomasse-Backup-Heizung, damit der solare Deckungsgrad maximiert werden kann. Diese grundsätzlichen Überlegungen sind sowohl bei zentralen als auch bei dezentralen Einheiten zutreffend.

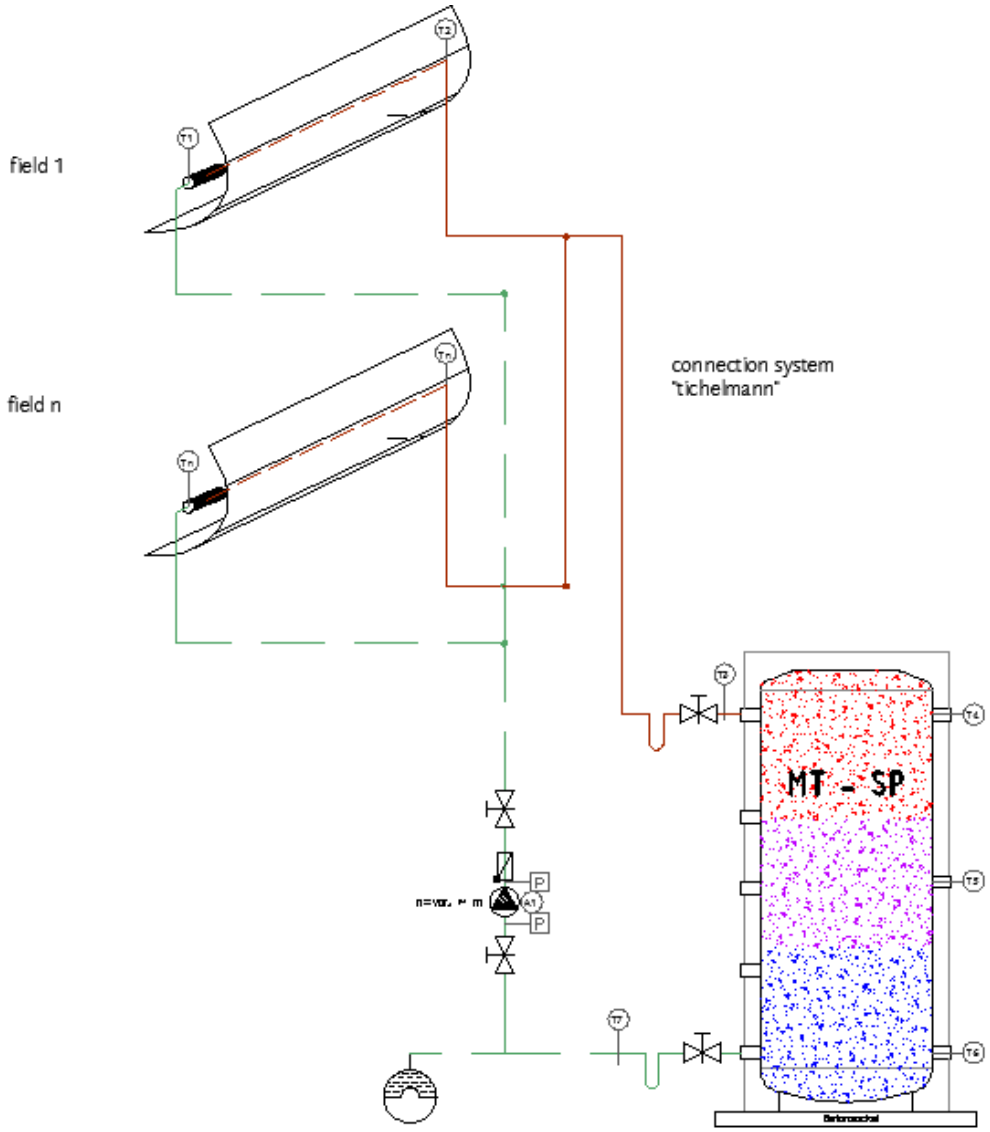


Abbildung 106: Schema Kollektorkreis (Grafik: teamgmi)

Bei ausreichender Einstrahlung, erreichten Schwellwerten (z.B.: Temperaturdifferenz zw. T12 und T25) und wenn die Voraussetzungen der Ventilstellungen von V2 und V3 richtig erfüllt sind (Back-up kann somit keine Wärme liefern), wird die Solarwärme über das Trägermedium Thermoöl in den Mitteltemperaturspeicher eingespeist.
Werden die Bedingungen von Kollektor (T12) zu Speicher (T20) und die Temperaturdifferenz nicht mehr erfüllt oder ist der Speicher vollständig durchgeladen, schaltet die Pumpe wieder ab.

Regelalgorithmus:
T25 - T12 = constant
T12 > T25 --> V3: B-AB + V2: AB-B --> A3=1
A3 = f (T12; T20; T25; Id, V2, V3)
T12 < T13 bzw. T20 --> A3=0 (Pumpe AUS)

Regelung Backup Mitteltemperatur:

Regelmäßig sind die Bedingungen der Prioritätenliste abzufragen, einzige Einschränkung – auch bei Kollektor-Vorrangschaltung – ist die Backup-Mindestlaufzeit (zum Schutz des Brennraums der Biomasse).
Erreicht die Vorlauftemperatur einen höheren Wert, als im Speicher vorhanden ist, erfolgt die parallele Umstellung der Umschaltventile V2 und V3 für den Backup-Betrieb. Zeitgleich muss A3 ausgeschaltet werden.

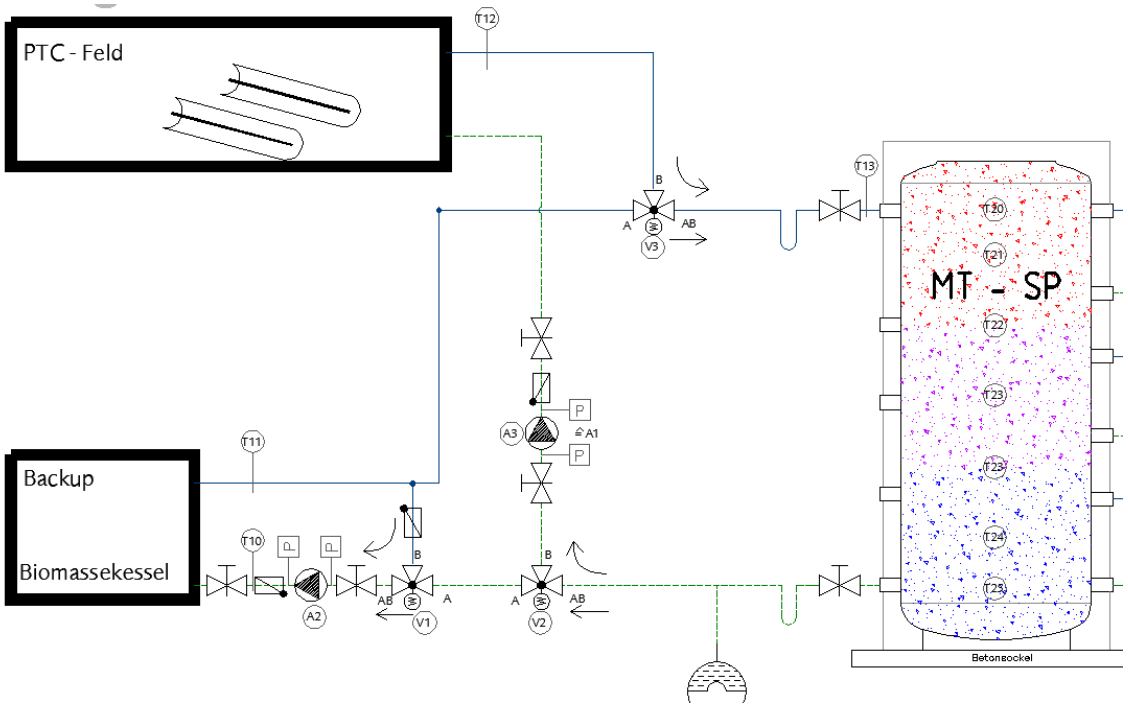


Abbildung 107: Schema Kollektor- und Backup-Kreis (Grafik: teamgmi)

Regelalgorithmus:
V1: zur Rücklaufanhebung gegen Versottung, dann V1: A-AB
T11>T20 + V1: A-AB + V2: AB-A
A2 = f (T20;T12; T11; V3; V2; A3)
T20=T25 --> A3 =0 und A2=0

Regelung Anforderung Kochen = Anf. K:

Gibt es eine Anforderung Kochen, wird mit konstanter Drehzahl die Wärme aus dem Speicher entnommen.

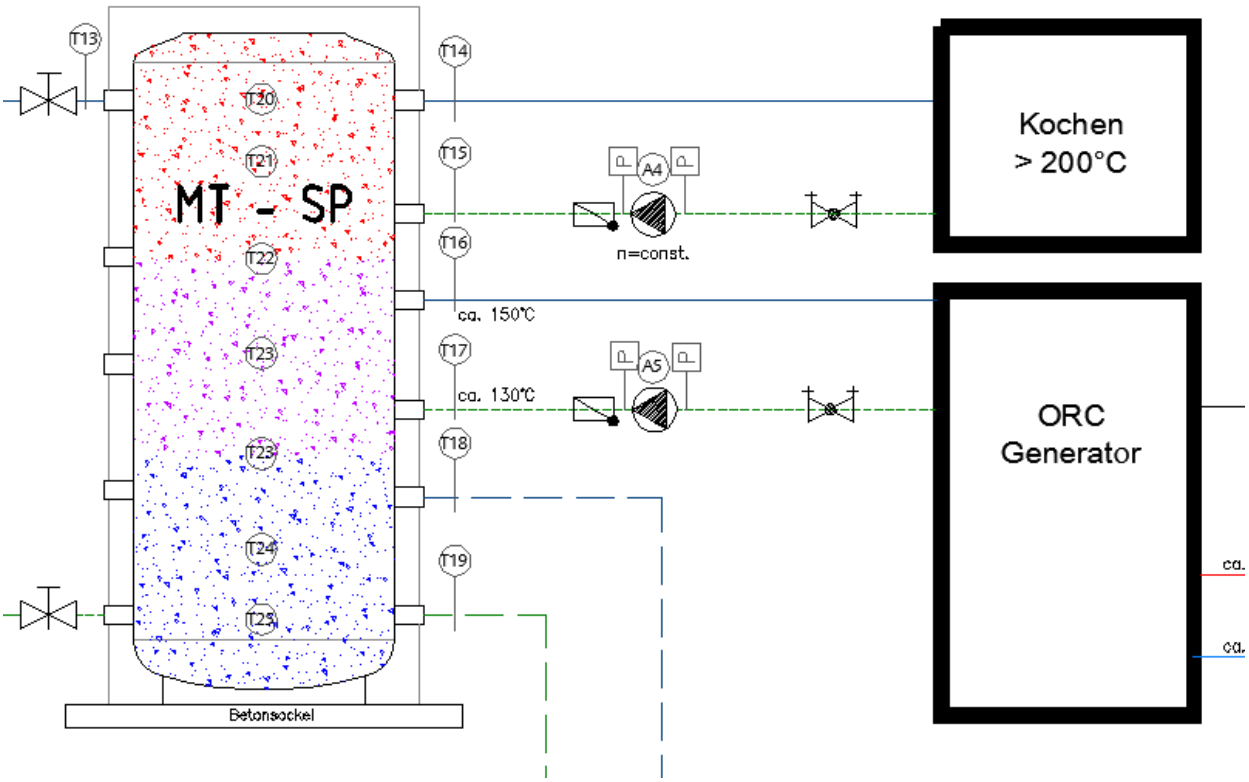


Abbildung 108: Schema Verbraucherkreise Kochen und ORC-Generator (Grafik: teamgmi)

Regelalgorithmus:

A4 = f (T14; n; Anf. K)

Regelung Pumpstation Wärmeverteilnetz:

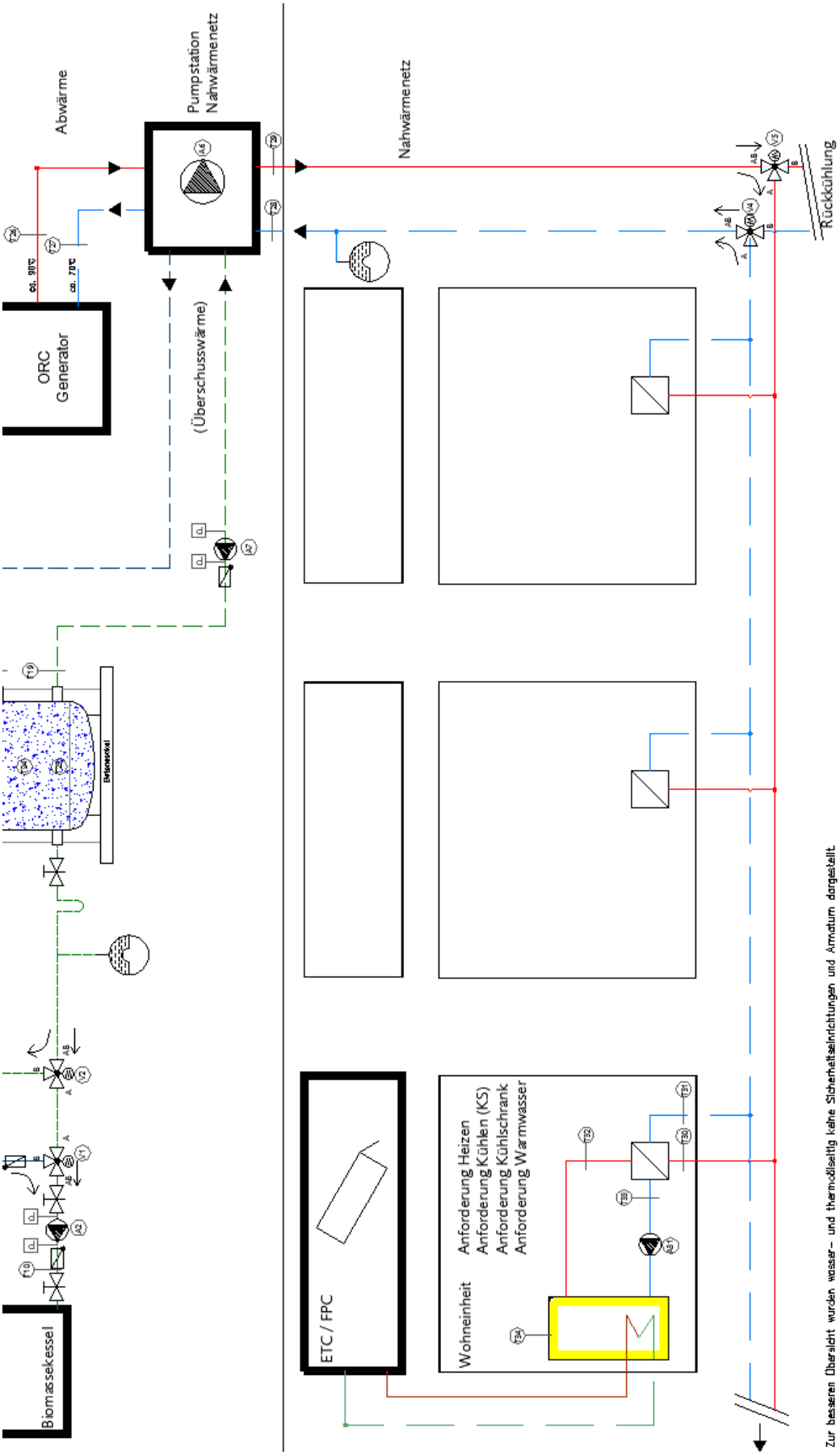


Abbildung 109: Schema Wärmenetz Versorgung der Wohneinheiten (Grafik: teamgmi)

Das Wärmenetz stellt den Verbrauchern konstant Niedertemperatur zur Verfügung. Bei keiner/geringer Entnahme wird der Durchfluss auf eine konstante Rücklauftemperatur reduziert. Somit wird sichergestellt, dem Verbraucher immer Wärme primärseitig bereitzustellen.

Regelalgorithmus:
A31=0 + m=0 + T31 ≈ T30 + V4: A-AB + V5: AB-A
A6 = f (Tamb; A3n; T31; T30; V4; V5)
--> T28 =const. entspr. T28 ≈ T29-5K

Rückkühlung ohne Abwärmenutzung ORC-Generator:
Wird elektrische Energie ohne gleichzeitige Wärmenachfrage verlangt, wird die Abwärme (T26) als Überschusswärme über die Pumpstation in den MT-Speicher eingespeichert. Voraussetzung: niedrige Speichertemperaturen: T25<T26. Wird diese Voraussetzung nicht erfüllt, der Speicher ist vollständig geladen, wird die Abwärme über das Nahwärmenetz über die Rückkühlung geführt.
V4: AB-B und V5: AB-B

bei Anforderung elektrische Energie:
(ohne Wärmenachfrage)
Bed.1: T28 ≈ T29 + T25 < T26 --> A7=1
Bed.1 nicht erfüllt Rückkühlung aktivieren:
V4: B-AB und V5: AB-B

Die vollständigen Schemata des Kollektorkreises und der Energiezentrale sind im Anhang Teil 3 zu finden.

5.9 Reduktion des Stromverbrauchs der Endgeräte im Haushalt

Für eine Realisierung des Energieversorgungssystems ist die maximale Substitution der elektrischen Verbräuche durch thermische Energiedienstleistungen notwendig. Für die Auswahl und Entwicklung von Endgeräten geht es einerseits um mögliche Umbaulösungen (Substitution von elektrischen durch thermische Verbräuche), andererseits soll auch überlegt werden, wie die Anforderungen der NutzerInnen an Endgeräte bestmöglich erfüllt werden können (Angepasste Lösung).
Als erster Schritt wurde eine möglichst große Bandbreite an Geräten, die in Haushalten zum Einsatz kommen, identifiziert. Dabei ist vor allem interessant, welche großen Verbraucher reduziert werden können, aber auch, welche Geräte sehr hohe Leistungen (wenn auch nur für einen kurzen Zeitraum) beziehen. Damit kann einerseits der Stromverbrauch und andererseits die Anschlussleistung für die einzelne Wohnung/Haus bzw. für die geplante Siedlung reduziert werden. Durch Einsatz eines intelligenten Konzepts für das Lastmanagement kann die stromerzeugende Anlage hinsichtlich ihrer Leistung viel kleiner als bislang ausgelegt werden.

Im zweiten Schritt wurden die zehn größten Stromverbraucher im Haushalt (siehe Tabelle 4) herangezogen und bzgl. ihrer Einsparungspotenziale untersucht.
Die thermische Energie kann solar bereitgestellt bzw. biogene Energieträger herangezogen werden, wobei ein möglichst hoher solarer Deckungsanteil angestrebt wird. Der Stromverbrauch für die **Warmwasserbereitung** kann daher sehr einfach auf nahezu null reduziert werden.
Bei den **Umwälzpumpen** hängt der Energieverbrauch von der Förderhöhe, dem maximalen Förderstrom und der Laufzeit ab. Der Stromverbrauch gliedert sich in Pumpenergie und Regelungstechnik und kann durch folgende Faktoren minimiert werden:

- Verwendung von höchst effizienten Umwälzpumpen zur Speicherladung und Wasserbeförderung
- Geeignetes Hydraulikschema (Grundsatz: so wenige Kreise wie nötig, kurze Leitungslängen)
- Sorgfältige Auslegung aller Hydraulikarmaturen und Leitungen (Widerstandswerte).
- Sorgfältige Auslegung der Pumpen
- Verminderung der Pumpenlaufzeit (Ladekreise und Wasserförderung) → Regelungstechnik erforderlich (Verbraucheranforderung bzw. Anforderung durch Kollektortemperatur)

Trotz dieser Möglichkeiten für eine Reduzierung des Stromverbrauchs wurde der von Statistik Austria ermittelte Medianwert von 347 kWh im Jahr für österreichische Haushalte beibehalten, da bei diesem Gesamtkonzept aufgrund des erhöhten thermischen Verbrauches auch ein erhöhter Bedarf im Bereich der Umwälzpumpen gegeben ist.
Für dieses Energiekonzept sind bisher keine Referenzdaten vorhanden, weshalb für die Umwälzpumpen ein gleichbleibender Wert angenommen wurde. Die Errichtung einer Prototypenanlage für eine Messung der tatsächlichen Verbräuche ist daher dringend erforderlich.

Heizen mit elektrischer Energie ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten abzulehnen und kann auf nahezu null gesetzt werden (siehe Warmwasserbereitung).

Im Weiteren wurden neben der Beleuchtung die nachfolgenden Endgeräte der großen Stromverbraucher im Haushalt in Bezug auf Einsparungspotenziale und Weiterentwicklungsbedarf untersucht:

- Gefrier- und Kühlgeräte
- Waschmaschine
- Geschirrspüler
- Wäschetrockner
- Herd, Backrohr

5.9.1 Gefrier- & Kühlgeräte

Laut Statistik Austria verfügen alle befragten Haushalte über einen oder mehrere Kühlschränke mit Gefrierfach oder eine Kühl-Gefrier-Kombination. Rund 50% verfügen auch über ein Gefriergerät.[14]

Als einzige Alternative zu elektrischen Kühlgeräten gibt es auf dem Markt einige gasbetriebene Geräte, die nach dem Absorptionsprinzip arbeiten. Diese Geräte werden als Campingkühlschränke angeboten, da sie unabhängig vom Stromnetz betrieben werden können. Vereinzelt werden auch Hotelzimmer in Luxushotels mit Absorptionskühlschränken ausgestattet, dies vor allem wegen des lautlosen Betriebs.

Eine Lösungsmöglichkeit wird in einem laufenden Projekt entwickelt: Zero CO2 Cooler[15]. In dem Projekt Zero CO_2 Cooler wird ein alternatives Kühl- und Gefriergerät auf Basis einer thermisch basierten Kühltechnologie entwickelt, die ohne die Verluste funktioniert, wie sie üblicherweise bei der Umwandlung von thermischer in elektrische Energie und bei der weiteren Umwandlung von elektrischer Energie für thermische Dienstleistungen (z.B. Heizen, Kühlen) auftreten.

Die Kühltechnologie, die für den Zero CO_2 Cooler zur Anwendung kommt, wird „Icebook"-Technologie genannt. Es ist eine neue Art einer Ammoniak-Wasser-Absorptionskältemaschine, die mit einem patentierten Kühlkreislauf bei Temperaturen läuft, die bis vor kurzem noch ungeeignet waren. Im Gegensatz zu konventionellen Kühlsystemen, die aus einer Reihe von Wärmetauschern bestehen, die wiederum durch ein relativ kompliziertes Netz aus gebogenen Rohren und Verschraubungen verbunden werden, ist das Icebook wie ein Buch aus einem Plattenblock aus verschiedenen Materialien aufgebaut.

Dieses Kühlgerät funktioniert mit jeder Wärmequelle von ca. 70–90°C, z.B. Fernwärme, Solarwärme, Abwärme eines Elektrogenerators mit Kraft-Wärmekopplung etc. Alle Kühlgeräte im Haushalt können von einer einzigen Maschine versorgt werden. Die Kälte wird per Heat-Pipe an die Orte transportiert, an denen sie benötigt wird.

Durch diese Neuentwicklung ist eine Reduktion des Stromverbrauchs von Kühl- und Gefriergeräten auf nahezu null möglich, wodurch der ZCC ein Pioniermodell für andere Produkte und Industrieanwendungen darstellt.

5.9.2 Waschmaschine

Bezüglich der Ausstattung von Haushalten mit Waschmaschinen ist in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich, dass das Fassungsvermögen der Geräte zu rund 80% zwischen 4,5 und 5,5kg liegt. Etwas mehr als zwei Drittel der Geräte sind jünger als 10 Jahre.

Tabelle 29: Waschmaschinen in Haushalten

Waschmaschinen, Ausstattung Haushalte			
Fassungsvermögen in kg	Anteil in %	Gerätealter in Jahren	Anteil in %
<4,5	11	<5	35
4,5-5,5	79	5-10	38
<6	10	>10	26

[14] Statistik Austria 2009, 22-23.

[15] Zero CO_2 Cooler – der Kühlschrank mit Warmwasseranschluss, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020

Der durchschnittliche jährliche Energie- und Wasserverbrauch durch Wäschewaschen wird mittels der Richtlinie 95/12/EG Anhang II berechnet. Dabei wird von 200 Waschzyklen im Standardprogramm „Baumwolle 60 °C“ pro Jahr ausgegangen.
Mit den heutigen Waschmitteln lassen sich zwar bereits auch unter 40°C (20–40°C) hygienisch gute Ergebnisse für die meisten Textilien erzielen, jedoch sollte auf jeden Fall ein- bis zweimal im Monat mit 60°C und einem bleichmittelhaltigen Vollwaschmittel gewaschen werden, um eine Keimbildung in der Waschmaschine zu verhindern.
Der Medianwert beim Stromverbrauch für Waschmaschinen in Österreich beträgt laut Statistik Austria 175 kWh im Jahr für österreichische Haushalte (siehe Tabelle 4). Der Jahresverbrauch der elektrisch betriebenen Topprodukte liegt entsprechend der klima:aktiv-Seite www.topprodukte.at mit 0,8 kWh pro Standardwaschgang bei 160 kWh.[16]
Die größte Stromeinsparung kann jedoch durch die Verwendung von Waschmaschinen mit einem Warmwasseranschluss erzielt werden. Ein Heizregister ist bei diesen Geräten nicht notwendig. Die Erwärmung auf die gewünschte Betriebstemperatur erfolgt über Warmwasser im Niedertemperaturbereich. Einzig der benötigte Restenergiebedarf für z.B. Pumpen und Motoren muss elektrisch bereitgestellt werden.
Marktfähige Geräte verschiedener Produzenten werden schon seit längerem im Fachhandel vertrieben. Einer der wenigen Gerätehersteller, die Verbrauchsdaten zu Energieeinsparungen durch einen Warmwasseranschluss publizieren, ist die Firma Miele. Nach Angaben des Herstellers liegt der Verbrauch bei diesen Waschmaschinen mit Warmwasseranschluss bei ca. 0,2 kWh für einen Standardwaschgang. Der Medianwert kann dementsprechend von 175 kWh um 77 % auf 40 kWh reduziert werden.

5.9.3 Geschirrspüler

Rund 71% der befragten Haushalte verfügen laut Statistik Austria über einen Geschirrspüler. Der Median für den Stromverbrauch beträgt 222kWh im Jahr für österreichische Haushalte. Am meisten verbreitet sind Geräte mit einer Breite von 60cm.
Aktuelle Recherchen zum Stromverbrauch von elektrisch betriebenen Produkten ergaben einen durchschnittlichen Verbrauch von 0,83 kWh pro Spülzyklus für Geräte der Energieeffizienzklasse A+ bzw. 0,78 kWh pro Spülzyklus für Geräte der Energieeffizienzklasse A+++. Die Recherche der energieeffizienten Produkte erfolgte über die klima:aktiv-Seite www.topprodukte.at.
Bei 250 Spülzyklen im Jahr ergibt das einen Stromverbrauch von 208 bzw. 195 kWh.
Wie bei den Waschmaschinen sind auch im Bereich der Geschirrspüler marktfähige Produkte verschiedener Hersteller erhältlich, die über einen Warmwasseranschluss verfügen. Durch die Bereitstellung der benötigten Wärme über das Warmwasser liegt der Stromverbrauch dieser Geräte nach Herstellerangaben bei ca. 0,2 kWh für einen Spülzyklus.
Der Medianwert kann dementsprechend von 222 kWh um 78 % auf 50 kWh reduziert werden.

[16] http://www.topprodukte.at/index.php?pid=produktlisten&topproductscat1=23&topproductscat2=67&topproductscat3=229&topprodukte_sort_listing=x&topprodukte_sort_direction=x&topprodukte_how_many_ds=1; (04.04.2012 13:15)

5.9.4 Wäschetrockner

Rund 17% der Befragten verfügen laut Statistik Austria über einen Waschtrockner (Kombination Waschmaschine und Wäschetrockner), 14% der Haushalte über einen Wäschetrockner.
Das Fassungsvermögen der Waschtrockner ähnelt dem der Waschmaschinen, während Wäschetrockner meist größer dimensioniert sind. Über 20% haben ein Fassungsvermögen von mindestens 6 kg, 70% trocknen 4,5–5,5 kg Wäsche und nur 4% weniger als 4,5 kg. Knapp die Hälfte der Geräte ist mit einem Feuchtigkeitssensor ausgestattet.
Zu beachten bei Wäschetrocknern ist, dass man zwischen Ablufttrockner und Kondensationstrockner unterscheiden muss. Jeder Trockner verfügt über einen Thermostat, welcher die Temperatur der Wäsche überwacht, deren Werte liegen je nach Gerät um 60°C, bei Ablufttrocknern und bei Kondensationstrocknern um 75°C.
Die Bauart spiegelt sich auch in deren Energieeffizienzklassifizierung (Ablufttrockner - Energieeffizienzklasse C; Kondensationstrockner – Energieeffizienzklasse B) und in deren Energieverbrauch wider. Ein noch größerer Unterschied liegt vor, wenn der Kondensationstrockner über eine Wärmepumpe (Energieeffizienzklasse A) verfügt.

Tabelle 30: Ablufttrockner, Kondensationstrockner

Gerät	Art	Energieverbrauch [kWh/kg Wäsche] bei **60%** Wäsche-Restfeuchte	Energieverbrauch [kWh] bei 1000 U/min	Füllmenge [kg]
Miele T 7934	Ablufttrockner, el. Beheizt	0,543	3,8	7
Miele T 8903 C For All	Kondensationstrockner ohne WP	0,557	3,9	7
Miele T 9747 WP C	Kondensationstrockner mit WP	0,286	2	8

Eine andere Alternative ist die Verwendung eines Gastrockners. Bei diesen Geräten kann der Stromverbrauch weiter reduziert werden, jedoch ist dementsprechend für den Betrieb eine Versorgung mit Gas erforderlich.

Tabelle 31: Gastrockner; Quelldaten: Publikation von Miele & Cie. KG, Gütersloh, 02/04

Gerät	Art	Energieverbrauch [kWh/kg Wäsche] bei **70%** Wäsche-Restfeuchte	k.A.	Füllmenge [kg]
Miele T 478 G	Gastrockner	$0{,}05_{el} + 0{,}89_{Gas}$	-	5

Eine weitere Möglichkeit wird in Zukunft die Verwendung eines solarbeheizten Wäschetrockners der Firma Miele sein.
Bei dieser Technologie kann entsprechend der Konzeptidee des energieautonomen Gebäudes die Sonnenenergie direkt ohne Umwandlung in Strom zum maschinellen Wäschetrocknen nutzbar gemacht werden.

Der Betrieb des Solartrockners erfolgt über vier Leitungen direkt aus dem Schichtenspeicher. Über die erste Leitung wird mit warmem Wasser die Prozessluft zum Trocknen erwärmt. Das dann abgekühlte Wasser wird über die zweite Leitung in den Speicher zurückgeführt, dort wieder erwärmt und dem Kreislauf erneut zur Verfügung gestellt. Über die dritte Leitung wird kühles Wasser aus dem Speicher zum Abkühlen der feuchten, warmen Trocknerluft in den Trockner geführt, wodurch als Folge die warme Trocknerluft innerhalb des Wärmetauschers kondensiert wird. Das erwärmte Wasser wird dann über die vierte Leitung in den Speicher zurückgeführt.
Durch dieses geschlossene Kreislaufsystem zwischen Solartrockner und Speicher sind die Verluste auf ein Minimum reduziert.

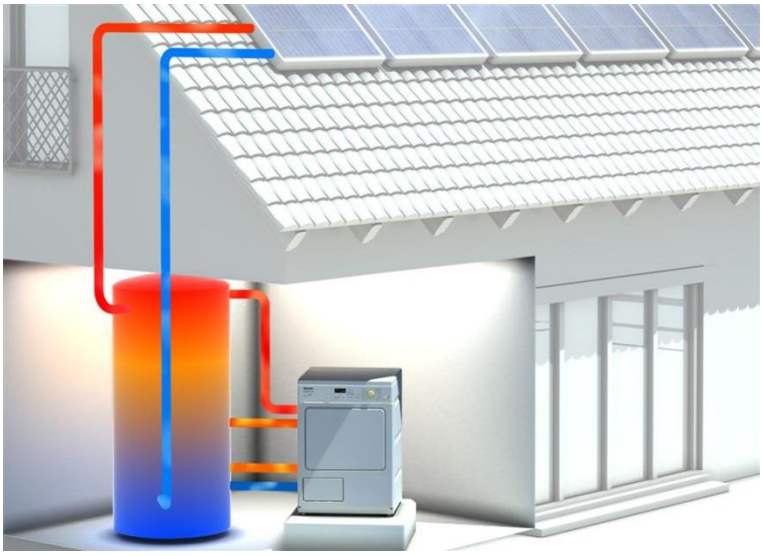


Abbildung 110: Funktionsweise des Solartrockners (Miele/Solvis)

Die Markteinführung des Solartrockners ist für das Frühjahr 2013 geplant. Laut ersten Informationen des Herstellers sind jedoch Primärenergieeinsparungen gegenüber Wärmepumpentrocknern von ca. 60 % und gegenüber herkömmlichen Abluft-/Kondenstrocknern von bis zu 80 % zu erwarten.
Für den Medianwert von 178 kWh wird dementsprechend ein Wert von 50 kWh angenommen werden (siehe Tabelle 4). (Miele/Solvis)

5.9.5 Herd, Backrohr

Im Bereich Herd & Backrohr wird ein Großteil der Geräte (92%) derzeit elektrisch betrieben.
Der Energieverbrauch beträgt laut Statistik Austria ca. 291kWh (Median), dabei besteht für die Verwendung von Strom eigentlich keine Notwendigkeit, da nur thermische Energie benötigt wird. Mit brennstoffbetriebenen Herden könnte der Strombedarf auf null reduziert werden. Dazu kann Biomasse oder Biogas herangezogen werden. Nachteilig ist hier die bislang nicht vorhandene Infrastruktur (Biogas zum Kochen – aufwendige Beschaffung) beziehungsweise die Trägheit und der hohe Platzbedarf der Systeme (Holzherd), sodass diese Lösung für viele BenutzerInnen keine adäquate Alternative darstellt. Auch sollte die gewünschte Temperatur im Kochgeschirr rasch zur Verfügung stehen, weshalb Kochplatten sehr hohe elektrische Anschlussleistungen aufweisen. Aus diesem Grund ist bei einer Substitution des Stromverbrauches auch eine Reduktion der benötigten elektrischen Leistung von Relevanz. Gleichzeitig ist der Prozess des Kochens durch hohe Verlustleistungen wegen der hohen Wärmeüber-

tragungsverluste zwischen Kochplatte und Kochgeschirr gekennzeichnet. Konkurrenzfähige Systeme müssen wegen der hohen Nutzeranforderungen in jedem Fall eine ähnlich schnelle Einsatzbereitschaft wie die gängigen Kochfelder sowie einfach zu reinigende Oberflächen aufweisen.
Im Nachfolgenden werden bestehende Lösungen analysiert und alternative Möglichkeiten im Sinne des Konzeptes des energieautonomen Gebäudes aufgezeigt.

Analyse bestehender Systeme
Unterschieden wird zwischen den folgenden Kochfeldern:

Tabelle 32: Vor- und Nachteile verschiedener Kochfelder

Koch-felder	Vorteile	Nachteile
Gas-koch-platten	• Wärme sofort da • schnelle Hitzeregulierung • kostengünstig • geringer Primärenergiebedarf • Benutzung von Töpfen und Pfannen mit unebenen Boden • Einsatz auch in Gebieten ohne Stromversorgung oder bei Stromausfall möglich	• hohe Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung • Verbrennungs- und Brandgefahr • hohe Unfallgefahr • auf Gas angewiesen • niedrige Temperaturen (unter 150 °C) bei Backofen nicht einstellbar • ausreichende Lüftung des Raumes erforderlich
Guss-koch-platten	• Robust, preiswert	• Hohe Oberflächentemperaturen • Thermisch träge • Schlecht zu reinigen • Korrosion kann auftreten • Latente Brand- und Verbrennungsgefahr
Glas-kera-mik mit Strah-lungs-heiz-kör-pern	• Leicht zu reinigen • Ebene Fläche • Schönes Design • Gute optische Reaktion durch schnelles Glühen bei Halogenheizkörpern und Bandstrahlungsheizkörpern	• Hohe Oberflächentemperatur • Thermisch träge • Rückstrahlung bei blanken Edelstahltöpfen • Teurer als Gussplatten • Einbrennen von übergekochten Speisen • Latente Brand- und Verbrennungsgefahr (HiLight)
Induk-tion	• Schnelle, gute Regelbarkeit • Niedrige Oberflächentemperaturen • Hoher Ankochwirkungsgrad • Leicht zu reinigen • Schönes Design • Praktisch keine Brand- und Verbrennungsgefahr	• Nur magnetisierbare Topfböden funktionieren • Schlechte Wärmeverteilung • Schlechter Teillastwirkungsgrad • Teuer • EMV-Diskussion • Geräusche

Gusskochplatten weisen Heizleitertemperaturen von 750°C auf, an der Oberfläche erreichen sie bei voller Leistung im Leerlauf 550°C. Bei Ceranfeldern liegen die Temperaturen am Heizleiter um 1050°C, die Oberfläche erreicht lediglich 550-600°C. Bei einer Gusskochplatte wurde die Oberflächentemperaturen mittels einer Thermografieaufnahme überprüft (siehe Abbildung 111). Die Anschlussleistung betrug 1600 Watt, die Platte wurde auf der höchsten Stufe betrieben. Erkennbar ist auf der Grafik die ungleiche Temperaturverteilung bedingt durch die Anordnung des Heizleiters. Oberflächentemperaturen von bis zu 516°C wurden festgestellt.

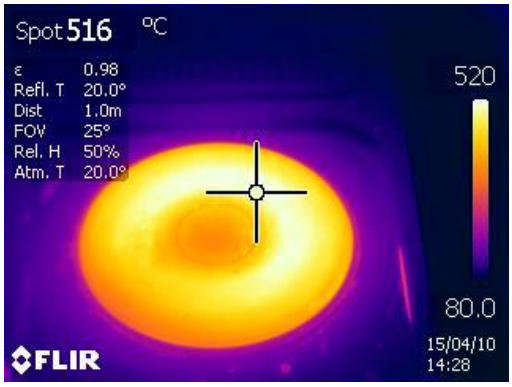


Abbildung 111: Temperaturverteilung einer Gusskochplatte bei voller Leistung

Die hohen Temperaturen werden benötigt, um einerseits die Energieverluste zwischen Kochgeschirr und Herdplatte zu kompensieren und andererseits die Platte schnell auf Temperatur zu bringen. Verbesserungen zur effizienteren Energiebereitstellung können durch eine effizientere Wärmeübertragung erfolgen. Unter den elektrisch betriebenen Kochfeldern ist Kochen mittels Induktion am effizientesten und auch am schnellsten. Die klassischen Kochplatten (Gusskochplatten) weisen die geringste Effizienz auf, da zuerst auch der Gusskörper auf Temperatur gebracht werden muss. In der folgenden Tabelle sind verschiedene Kochplatten beim Erhitzen von Wasser und Erwärmen eines Linseneintopfes hinsichtlich des benötigten Energieverbrauchs und der Dauer dargestellt.

Tabelle 33: Kochplatten, Energieverbrauch

Kochplatten, Typen	**Wasser erhitzen, 1,5l von 15°C auf 90°C, ohne Deckel**		**Linseneintopf erwärmen, 600g aus Kühlschrank, bis auf max. 80°C aufgewärmt**	
	[min]	[Wh]	[min]	[Wh]
Klassische Kochplatten	10,5	260	4	100
Glaskeramik Infrarot	8	220	3	80
Glaskeramik Infrarot	8	230	5	70
Glaskeramik Halogen	7,5	230	3	90
Glaskeramik Induktion	6,5	180	2	60
Gas, klassische Brenner	10	330	3,5	110

Verwendeter Topf: 20cm, Fissler Magic.Linie Edelstahl
Daten aus Stiftung Warentest 08/2004

Die effizienteste Warmwasserbereitung erfolgt mittels Wasserkochern. Der Energieverbrauch zur Erhitzung (95°C) von 1 Liter Wasser wurde gemessen (bis die Abschaltautomatik greift).

Damit können die oben angeführten Werte nicht direkt verglichen werden, da dort kein Deckel verwendet wurde. Durchschnittlich betrug die Betriebszeit 3-4 Minuten bei einem Energieverbrauch von 113-116 Wh. Die Leistungsaufnahme lag zwischen 2200 und 2400Watt.

Tabelle 34: Energieverbrauch von ausgewählten Wasserkochern (1l Wasser, gemessen, bis automatische Ausschaltung erfolgt). Quelle: Stiftung Warentest 8/2006

Gerät	Leistung	Abschaltung nach:	Energieverbrauch
	[W]	[min]	[Wh]
Siemens TW60101	2400	03:10	113
Bomann WK 504 CB	2200	03:23	117
Bosch TWK 8SL1	2400	03:15	116
Braun WK 2010	2200	03:30	114
Elta WK124	2200	03:45	116

Für die Weiterentwicklung im Bereich Kochen mit Thermoöl kann daher darauf geschlossen werden, dass einerseits ein guter Übergang der Wärme auf das Kochgefäß vorhanden sein muss, um Energieverluste zu minimieren, und andererseits eine möglichst große Kontaktfläche vorhanden sein sollte, um die Kochleistung zu erhöhen. Wie so etwas aussehen könnte, ist in Abbildung 112 illustriert. Die Wärmetauscherfläche richtet sich nach dem Inhalt des Gefäßes und stellt so viel Energie wie notwendig bereit.

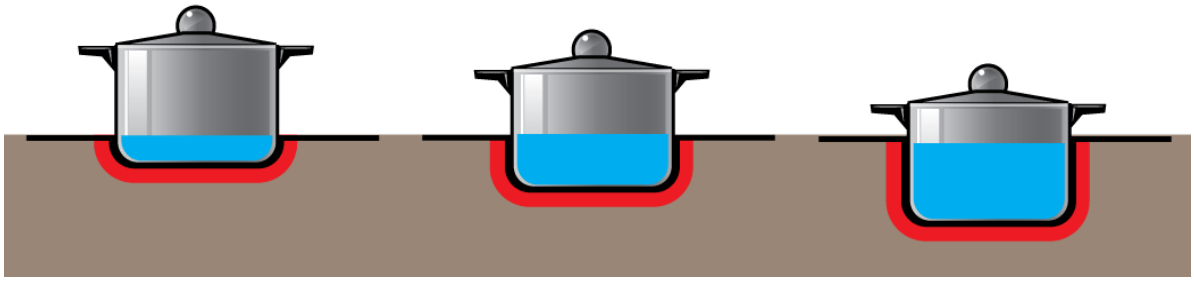


Abbildung 112: Kochen mit Niedertemperatur (Grafik: GrAT, Pokpong)

Da das Erhitzen von Wasser ein sehr energieintensiver Prozess ist, könnte hier auf andere Bereitstellungssysteme zurückgegriffen werden, wie z.B. solare Warmwassererwärmung. Dieses könnte dann direkt über die Wasserleitung in der Küche zur Verfügung gestellt werden und somit den Kochprozess verkürzen.

Typische Leistungswerte für Induktionskochplatten:

Dienen als Richtwert, da die Aufheizraten mit kommerziellen Systemen vergleichbar sein sollen.

Durchmesser:	Leistung:
14,5 cm	1400 W
15 cm	1400 W
16 cm	2000 W (Powerstufe)
18 cm	1800 W
21 cm	2200 W
28 cm	bis 2800 W (Powerstufe)
Bräterzone	2300 W

Abbildung 113: Durchmesser und Leistung von Induktionskochplatten (Referenzwerte) (HEA, 2012)

Festlegung der Möglichkeiten zur Nahrungszubereitung

Die gängigsten Zubereitungsarten beim Garen von Speisen sind folgende:

- Kochen (in Wasser sieden)
- Dämpfen
- Dünsten
- Braten
- Frittieren
- Sautieren

Je nach Anwendung kommen Wasser, Öle und Fette als Hilfsmittel zum Einsatz. Bei Einsatz von Wärmeträgerfluiden stellt sich vor allem die Frage, welche Temperaturen notwendig sind, um Speisen zu garen.

Tabelle 35: Gargut, empfohlene Temperaturen (AEG-Elektrolux)

Gargut	Temperatur (°C)
Rindfleisch	160–180
Rindsteak	180
Schweinefleisch	160–180
Geflügel	140-160
Spiegelei	140
Crepes / Omeletten	140-160
Gemüse	140-161

Einen Anhaltspunkt bieten beispielsweise die empfohlenen Gartemperaturen, die die Firma AEG für ihre Teppan-Yaki-Einbaugeräte empfiehlt. Beim Teppan-Yaki handelt es sich in diesem Fall um eine induktiv beheizte Sandwichplatte aus Edelstahl und Aluminium, auf der Speisen gebraten werden. Der Temperaturbereich kann zwischen 50 und 220°C eingestellt werden. Die empfohlenen Temperaturen sind in Tabelle 35 angeführt. Ausgehend von diesen Empfehlungen kann davon ausgegangen werden, dass 160°C Oberflächentemperatur bzw. max. 180 °C ausreichend sind, um Speisen zu braten.

Solares Kochen

Mit Thermoöl versorgte Geräte sind derzeit für gewerbliche Anwendungen (Großbäckerei, Wurstfabrik) konzipiert. Kleiner dimensionierte Haushaltsgeräte befinden sich in Entwicklung.

Nachfolgend wird die Planung eines Prototyps für eine thermisch betriebene Kochstelle beschrieben. Durch die Aufstellung der Kochmethoden, ihrer Charakteristik und der notwendigen Wärmeübertragungseigenschaften wurden Anforderungen an eine angepasste Kochstelle formuliert. Neben der Entwicklung des Anwendungsdesigns wie Form von Topf und Pfanne soll bei der Realisierung einer funktionierenden Einheit auch ein effizienter Wärmeübergang ermöglicht werden.
Die nachfolgende Abbildung zeigt das Schema mit den Hauptkomponenten für eine thermisch versorgte Kochstelle. Dabei erfolgt bei einer Implementierung in das Energieversorgungssystem von „Zero Carbon Village“ die Rückführung des Thermoöls in den thermischen Speicher. Dieses Versorgungschema ist aufgrund der direkten Verwendung thermischer Energie sehr übersichtlich. Es geht keine Energie durch Energieumwandlung, wie es bei elektrischen Systemen der Fall ist, verloren. Die verbleibenden Effizienzfaktoren sind:

- Gesamteffizienz des Sonnenkollektors
- Nutzbarer (exergetischer) Anteil am Speicherenergieinhalt
- Speicherwärmeverluste
- Leitungswärmeverluste
- Wärmeübergangsverluste an der Kochstelle

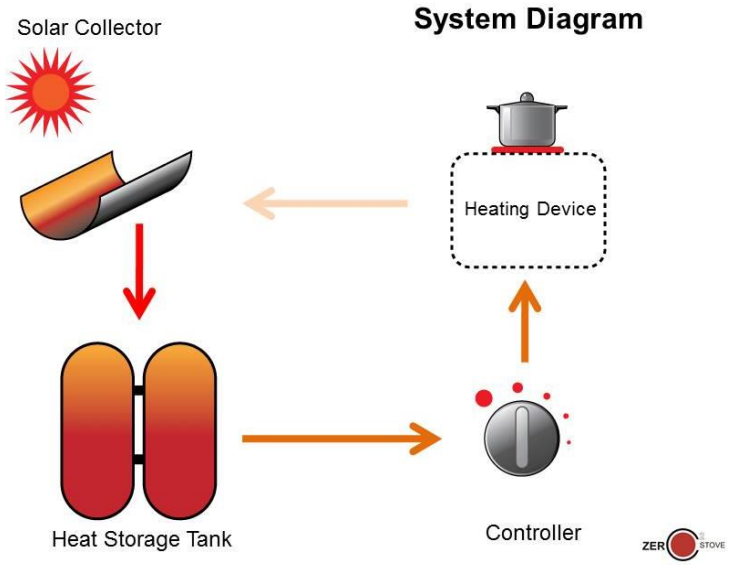


Abbildung 114: Solares Kochen im Thermoölzyklus (Grafik: GrAT, Pokpong)

Erhöhung der Wärmetauschfläche

Im Allgemeinen erfolgt bei Kochtöpfen die maximale Leistungsaufnahme zu Beginn des Kochvorganges. Bei steigender Temperatur, während der sensiblen Aufheizphase, sinkt die Leistungsaufnahme aufgrund der fallenden Temperaturdifferenz am Wärmeübertrager.
Mit der gewünschten Kochendtemperatur, wie z.B. der Siedetemperatur von Wasser, wird ein stationärer Zustand erreicht. Durch eine Variation des Volumenstromes in der Zuleitung kann bei der Abdeckung der konvektiven Verluste eine zu hohe Leistungsaufnahme bzw. eine zu hohe Temperatur am Wärmeüberträger vermieden werden.

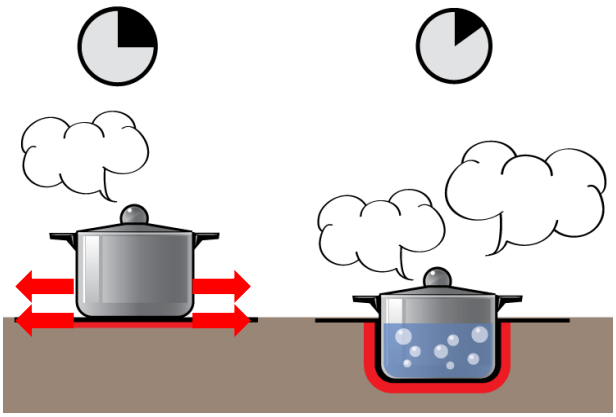


Abbildung 115: Erhöhung der Wärmetauschfläche (Grafik: GrAT, Pokpong)

Schwerpunkt Wärmeübertrager in nutzerorientiertem Design

Kochstellen für verschiedene Anwendungen vorzusehen ist sinnvoll. Jedenfalls kann eine Kocheinheit trotzdem modular aufgebaut werden, sodass sich der apparative Aufwand in Grenzen hält.

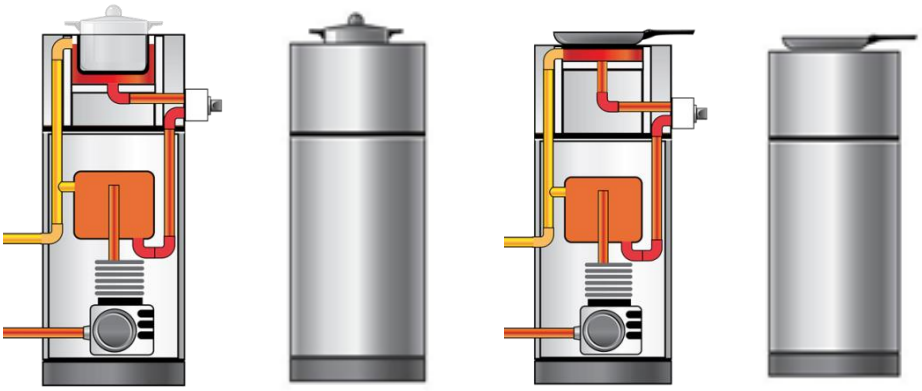


Abbildung 116: Mögliches Design einer mit Thermoöl versorgten Kochstelle (Grafik: GrAT, Pokpong)

Die runde Ausformung der Wok-Pfanne besitzt im Vergleich ein günstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis, was eine gleichmäßige Wärmeverteilung innerhalb der Pfanne bewirkt. Außerdem birgt diese Ausformung Vorteile für eine Topf in Topf Lösung, da im Zuge der Materialausdehnung bei Erwärmung die entstehenden Spannungskräfte nach außen wirken, wodurch eine Verklemmung ausgeschlossen wird.

Ausblick

In der nächsten Entwicklungsphase ist für den Erhalt von wissenschaftlichen fundierterten (gemessenen) Werten unbedingt die Planung und Errichtung eines Prototyps für ein indirekt betriebenes solares Kochsystem in einem kleinen Maßstab erforderlich (siehe Kapitel 7.2.2).

5.9.6 Beleuchtungssystem

Eine Möglichkeit zur drastischen Reduktion des Energieverbrauchs im Bereich der Beleuchtung ist der Einsatz hocheffizienter Leuchtmittel. Die aktuell energieeffizientesten Produkte am Markt sind LED-Leuchten. Diese sind in „Retrofit-Ausführungen“ erhältlichen, d. h. sie verfügen über ein Standard-E27-Schraubgewinde mit integriertem Vorschaltgerät und können daher problemlos an Stelle einer Energiesparlampe oder einer klassischen Glühbirne verwendet werden. Zusätzlich verfügen diese Lampen über einen Kühlkörper, welcher eine

gleichmäßige Abführung der entstehenden Wärme ermöglicht (Temperaturen bis zu 61°C am Kühlkörper). Einziger Nachteil ist der geringere Abstrahlwinkel der LEDs. Jedoch kann durch den Einsatz von Reflektoren im Lampenschirm eine ähnliche Ausleuchtung wie durch konventionelle Glühbirnen erreicht werden.
Im Vergleich zur Energiesparlampe sind die LED-Lampen mit einer längeren Lebensdauer, einer kürzeren Einschaltzeit und Schaltresistenz sowie einer weiteren Energieeinsparung von 20-30 % im Vorteil. Auch im Hinblick auf die Entsorgung nach der Nutzungsdauer verfügen sie über eine bessere Ökobilanz, da für die LED-Lampen kein Quecksilber benötigt wird. Einziges Manko sind die relativ hohen Investitionskosten. Nach Angaben des Projektpartners Zumtobel ist jedoch in den nächsten Jahren eine Preisanpassung auf das Niveau der Energiesparlampen zu erwarten.

Tabelle 36: Leuchtmittel im Vergleich

Leuchtmittel	Abstrahlwinkel	Lumen proWatt	Preis
Glühbirne	360°	10-13	Ca. € 1.-
Energiesparlampe	-	50	Ca. € 5-10.-
LEDonLamp	150-160°	60	€ 28.-

Eine weitere Überlegung war die Umstellung des Beleuchtungssystems auf 24 V. Energetisch gesehen bringt das jedoch keine Vorteile. Im Gegenteil ist zu berücksichtigen, dass bei entsprechenden Leitungslängen der Spannungsabfall bei Niederspannung zu Qualitätseinbußen führt. Eine 230V-Versorgung ist weiterhin für klassische Steckdosen-Verbraucher wie Föhn etc. notwendig und vorzusehen.
Für die Grundbeleuchtung sollte auf dimmbare Leuchtstofflampen gesetzt werden, die ebenfalls nur mit 230V gespeist werden können. Bei den dekorativen Lichtpunkten bzw. Leuchten kann der Einsatz der neuen Retrofit-Lampen von Vorteil sein.
Sollte ein Bussystem eingesetzt werden, könnte man zur Vereinfachung der Verkabelung bei der Lichtschalter-Installation mit Funkschaltern arbeiten. Den Schaltern genügt die zugeführte Energie des Tastendrucks, um ein Sendesignal an einen an der Decke montierten Sensor zu senden, über welchen die Beleuchtung gesteuert werden kann. Eine Verkabelung in den Wänden fällt daher für die sehr flexibel im Raum positionierbaren Lichtschalter weg. Eine Verdrahtung an der Decke ist jedoch weiterhin notwendig. Nachteilig bei einem Einsatz von Bussystemen ist, dass immer eine „Standby-Leistung“ und ein entsprechender Platzbedarf zu berücksichtigen sind.
Alternativ zu gewöhnlichen Stromkabeln können auch Versorgungsschienen zum Einsatz kommen, auf denen Lampen oder auch Steckdosen mittels eines arretierbaren Verschlussmechanismus fixiert werden können durch welche z.B. auch bei einer Änderung des Nutzungskonzeptes eine hohe Flexibilität gegeben ist.

Abbildung 117: Demonstration der Leuchtmittel, Steuerungssysteme

Abbildung 118: Energieeffiziente Leuchtmittel

Simulation dreier Beleuchtungsvarianten

Im Rahmen der Vorversuche für ein innovatives effizientes Lichtsystem des Zero Carbon Village wurden für einen Raum drei Beleuchtungsvarianten simuliert und verglichen.

Um sicherzustellen, dass sich durch die Verwendung der LED-Technologie tatsächlich nennenswerte Einsparpotenziale ergeben, wurde eine Analyse der Beleuchtungslösungen im Betrieb über die Lebensdauer vorgenommen. Hierfür wurde die von Zumtobel entwickelte Software ecoCALC herangezogen. Die Unterhaltskosten für die Lösungen wurden erfasst und damit die Wartungszyklen optimiert, um den Wartungsaufwand zu minimieren. Die in der Berechnung der Lebenszykluskosten angenommenen Investitionskosten basieren auf geschätzten Kosten für Leuchten, Lampen und dem Installationsaufwand und nicht auf realen Angeboten.

Zur Ermittlung des Einsparpotenzials durch eine tageslichtabhängige Steuerung wurden Tageslichtsequenzen für verschiedenen Jahreszeiten in der Zumtobel-Software VIVALDI analysiert, mit der dynamische Abläufe in der Beleuchtung über den Tagesverlauf dargestellt und berechnet werden können. So wurde die mögliche tageslichtabhängige Dimmung der Beleuchtung bestimmt. Die ermittelten Dimmkurven für die Leuchten wurden für die Sonnenwendetage des Jahres bestimmt und so in der Analyse des Energieverbrauches in ecoCALC verwendet.

Variante 1:

27 Stück, Dreibandenleuchtstoffröhre „Perluce“, 2 x 49 W T16

Gesamtanschlussleistung: 3077W

Variante 2:

46 Stück, LED „Scuba“, 55W

Gesamtanschlussleistung: 2622W

Variante 3:
46 Stück, LED „Scuba“, 55W
Gesamtanschlussleistung: 2622W
Tageslichtabhängige Steuerung mit Dimlite Daylight

Vergleich und Ergebnis

In Anbetracht des Einsparpotenzials, besonders was den Energieverbrauch angeht, wird Variante 3 empfohlen, also eine LED-Beleuchtungslösung mit einer tageslichtabhängigen Steuerung. Über die gesamte Lebensdauer gerechnet, beträgt die CO_2-Einsparung der Variante 3 gegenüber der konventionellen Variante 1 über 50 %, die Gesamtkosten sind um ein Drittel niedriger.

Die Steuerung basiert auf einer einfachen, raumbasierten Steuerung. Die Leuchten werden in vier Gruppen gesteuert, die Erfassung des verfügbaren Tageslichtes erfolgt über zwei Tageslichtsensoren, die den Lichteinfall in ein definiertes Fenster überwachen. Zusätzlich können in beliebiger Zahl handelsübliche Bewegungssensoren mit dem System verbunden werden.

Die Ergebnisse der Analysen in detaillierter Form befinden sich im Anhang Teil 4.

Tabelle 37: Vergleich der Beleuchtungsvarianten

	Perluce 2x49W T16	Scuba LED	Scuba LED gesteuert
Mittlere Gesamtkosten pro Jahr (EUR/a)	4182	3990	2767
Gesamtanschlussleistung (W)	3077	2622	2632
Energieverbrauch pro Jahr (kWh/a)	9708	8333	4466
LENI –Energieverbrauch pro m^2 und Jahr (kWh/m^2a)	48,54	41,66	22,33
CO_2-Einsparung pro Jahr (%)	-	14,17	53,99

5.10 Prototyp-Testanlage

Die im Projekt durchgeführte Berechnung der Energiebilanz (siehe Kapitel 5.7) basiert auf abgeschätzten Werten auf Grundlage der gesammelten Daten von Statistik Austria. Diese Daten basieren jedoch auf Umfragen und lassen daher nur bedingt Rückschlüsse auf unterschiedliches Nutzerverhalten zu. Auch die Verbrauchsangaben von Herstellern können nur bedingt für die Berechnungen herangezogen werden, da sich diese auf definierte Testbedingungen beziehen. Im Rahmen des kürzlich abgeschlossenen Projektes ADRES wurden zwar auch unabhängige Messwerte zu Haushaltsdienstleistungen in einem repräsentativen Umfang erhoben, jedoch unterscheiden sich auch diese stark in Art und Umfang der für das Zero Carbon Village notwendigen Referenzparameter. Um entsprechende Bedarfscharakteristika für einen solchen Siedlungsverband, wie er für das Zero Carbon Village geplant ist, unter Anwendung der formulierten thermischen Dienstleistungen simulieren zu können, sind Messwerte aus realen Betriebsbedingungen notwendig. Im Nachfolgenden eine Beschrei-

bung der Planung, Konzipierung und teilweisen Errichtung einer Prototyp-Testanlage für die Ermittlung realer Verbrauchswerte dieses neuartigen Versorgungssystems.

5.10.1 Zielstellungen

Für die Sicherstellung einer langfristigen Beobachtbarkeit und der damit verbundenen Möglichkeit, Daten in einem repräsentativen Umfang zu sammeln, wurde als Aufstellungsort das Zentrum für Angepasste Technologie in Böheimkirchen, NÖ (BöZAT) ausgewählt. Zum einen verfügt der Standort über ähnliche Klimadaten wie der geplante Errichtungsort des Zero Carbon Village, und zum anderen können die Prototypen auch als Demonstrationsobjekt für Besucher dienen, um ihnen die Thematik „Energieverbrauch von Haushaltsdienstleistungen“ näherzubringen. Für ein wissenschaftliches Anlagenmonitoring (Vermessung definierter Versorgungsszenarien) ist neben der notwendigen Implementierung von entsprechender Messtechnik in elektrische und thermische Versorgungskreise auch eine grafische Verbrauchsdatenausgabe (Touchscreen-Monitor) vorgesehen.
Für die Bestimmung der Bedarfswerte von Haushaltsgeräten, die mittels thermischer Energie versorgt werden, ist die Testanlage „verbraucherseitig“ anhand folgender Parameter zu konzipieren:

- Elektrischer Restenergiebedarf von Geräten
- Thermischer Energiebedarf
- Thermische Leistung (Schüttleistung) der einzelnen Hydraulikkreise und des Gesamtsystems (Messung permanenter/paralleler/einzelner Nutzung)
- Zeitliche Bedarfscharakteristik
- Anforderungsprofile an Versorgungskreise
  (elektrischer Verbrauch von Hydraulikkreispumpen)
- Anforderungen an die Regelungstechnik (Optimierung)
- Abgeleitete Anforderungen an thermische Speicher

Die Aufstellung der zu testenden Geräte erfolgt dabei räumlich nach:

- Küche (Geschirrspüler, Spüle, Kühlschrank und Kochstelle)
- Waschraum (Waschbecken, Dusche, Waschmaschine, Trockner)

Entsprechend den zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten wurde im Sinne einer kosteneffizienten Installation folgendes Anordnungskonzept erarbeitet:

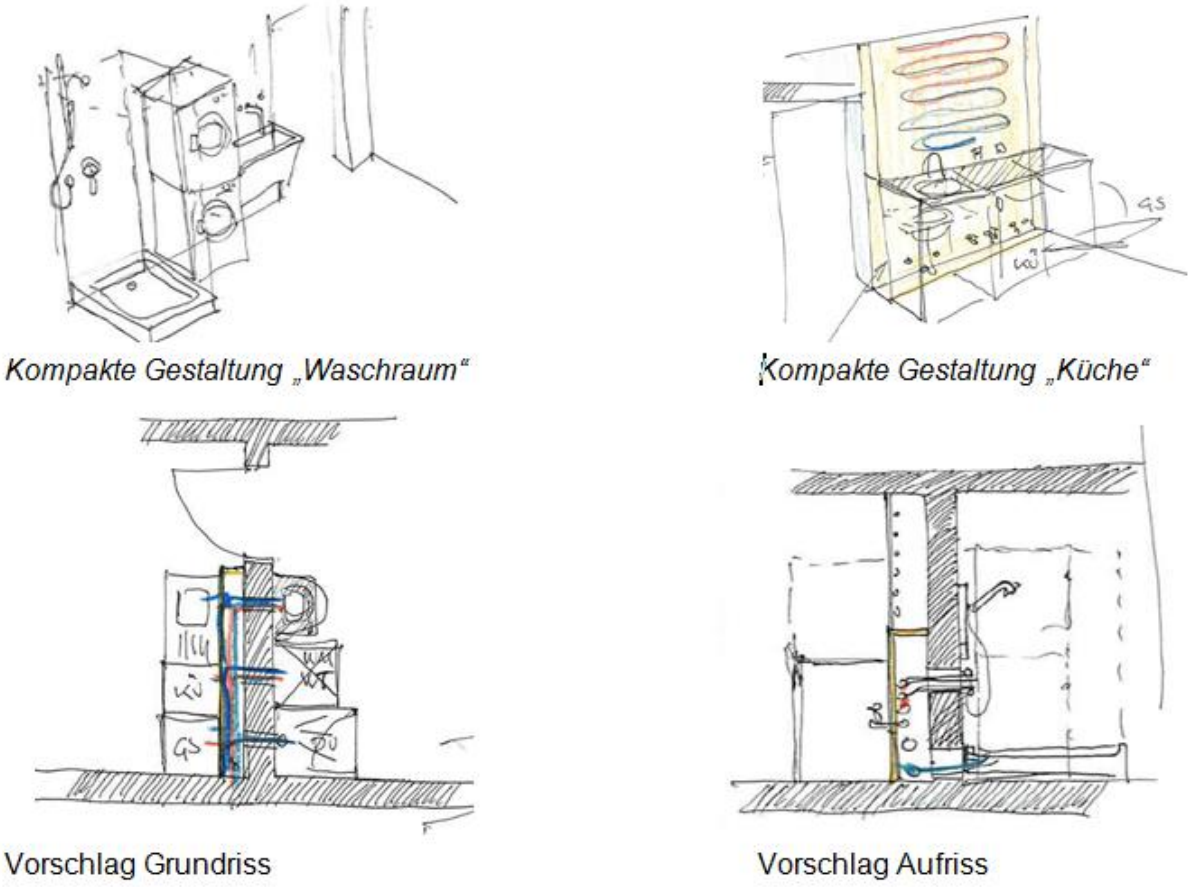


Abbildung 119: Architektonische Planungsvorschläge für die Demonstrationsanlage (Architekten Scheicher ZT GmbH)

In einem weiteren Schritt soll die Anlage „versorgungsseitig“ konzipiert werden. Hierbei unterscheidet sich die Anlage vom „aktuellen Stand der Haustechnik“. Die unterschiedlichen Temperaturanforderungen der Endgeräte machen die Realisierung eines zusätzlichen „Energiekreises“ (bis zu 80°C Vorlauftemperatur/ ca. 60°C Rücklauftemperatur) notwendig. Um eine Schichtung mit konstant hoher Temperatur innerhalb der Anlage umsetzen zu können, wird ein zusätzlicher thermischer Speicher (= „Energiespeicher“) notwendig. Die Funktionalität der Anlage wird dabei durch ein einfach strukturiertes, an die Anordnung angepasstes Regelungskonzept gewährleistet. Im Zuge des Testbetriebes müssen unter anderem folgende Parameter bestimmt werden:

- Pumpenergie für Belade- und Umwälzpumpen
- Richtigkeit von Art und Größe der Speicher (Überprüfung der Auslegung)
- Mögliche solare Deckungsanteile für verschiedene Klimaregionen
- Regelungsparameter (für Beladepumpen und Umschaltventile)

Die Entwicklung eines passenden Regelungssystems und Weiterentwicklung der dafür notwendigen Einstellungen im Rahmen des Testbetriebs wird unter Anwendung einer frei programmierbaren Regelungseinheit sichergestellt. Es gilt ein iterativer Ansatz:

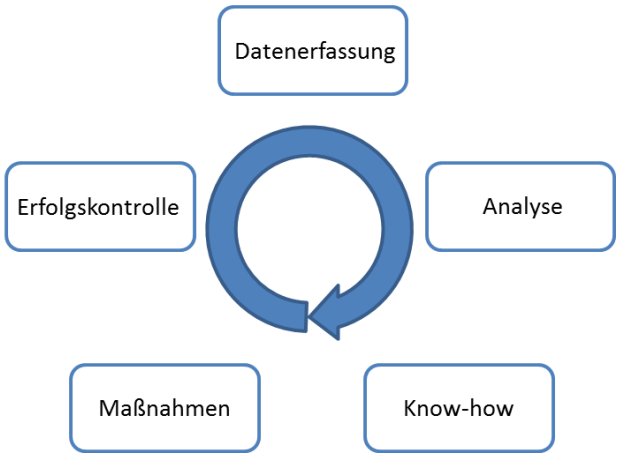


Abbildung 120: Monitoringkreis

Entsprechend der Verminderung des elektrischen Restenergiebedarfes nach dem Konzept des Zero Carbon Village soll bei der Weiterentwicklung im Testbetrieb ein besonderer Schwerpunkt auf die Verminderung der Pumpenlaufzeiten durch eine entsprechende Regelungstechnik gelegt werden. Die Verwendung von höchst energieeffizienten Umwälzpumpen sowie eine richtige Auslegung der Anlagenkomponenten sind in diesem Zusammenhang selbstverständlich.

5.10.2 Bauliche Vorplanung der Anschlusslösungen

Das auf dem Grundstück des BöZAT stehende Gebäude wurde vermessen und als Grundlage für die weitere Planung grafisch dargestellt.

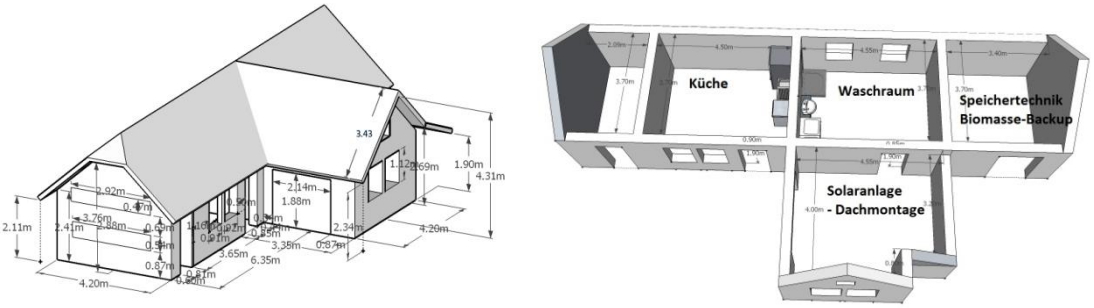


Abbildung 121: CAD-Gebäudeprofil, Südansicht, Grundriss

Das Gebäude ist längsseitig Nord-Süd-orientiert. Die Dachfläche am ostseitigen Zubau wurde für die Installation der Solaranlage (Vakuumröhrenkollektoren) ausgewählt.

Abbildung 122: Montage der Kollektorrahmen

Für die Auslegung der Hydraulikkreise, Abflüsse und elektrischen Kabel wurden zunächst die Versorgungsanschlüsse der Geräte gemäß der späteren Nutzung festgelegt:

Kühlschrank ZCC (optionaler Betrieb als Gefrierschrank):

Anschluss an „Energiekreis“: 2x Verschraubung ¾“
Rückkühlung: über Kaltwasser: Anschluss ¾“
Abfluss für Kondenswasser (Zur Sicherheit, eventuell nicht erforderlich)
Elektroanschluss: 230 V, Sicherung nach Bedarf, Schuko-Stecker (Beleuchtung)

Trockner:

Anschluss „Energiekreis“: 2x Verschraubung ¾“
Rückkühlung: über Kaltwasser: Anschluss ¾“
Abfluss für Kondenswasser
Elektroanschluss: 230 V, Sicherung nach Bedarf, Schuko-Stecker (Ventilation, Regelung)

Waschmaschine:

Elektroanschluss: 230V, 16A, Schuko-Stecker
Kaltwasser: bis 30°C Verschraubung ¾“, Fließdruck 3 bar (1-10 bar), Volumenstrom 10 l/min
Warmwasser: bis 60° C Verschraubung ¾“, Fließdruck 3 bar (1-10 bar), Volumenstrom 10 l/min → Thermostat-Mischventil im Trinkwasserkreis
Ablauf: Flexibler Ablaufschlauch (bis 25 l/min)

Geschirrspüler:

Elektroanschluss: 230V, 10A, Schuko-Stecker
Kaltwasser: bis 30°C Verschraubung ¾“, Fließdruck 3 bar (1-10 bar), Volumenstrom 10 l/min
Warmwasser: bis 60° C Verschraubung ¾“, Fließdruck 3 bar (1-10 bar), Volumenstrom 10 l/min → Thermostat-Mischventil im Trinkwasserkreis
Ablauf: Flexibler Ablaufschlauch (bis 20 l/min)

Dusche, Waschbecken und Spülbecken:

Standardausführung

5.10.3 Bauliche Umsetzung der Anschlusslösungen

Die Auslegung der Rohrleitungen erfolgte nach folgenden Grundsätzen:

- Minimierung der Zahl und Größe von Rohrdurchführungen, speziell in der Gebäudeaußenhülle (Luftdichtheit)
- Vermeidung von Wärmebrücken durch Rohrinstallationen in der Gebäudeaußenhülle (Transmissionsverluste)
- Minimierung der Rohrleitungslängen (Leitungsverluste)
- Berücksichtigung der möglichen Mehrfachnutzung von Rohrsträngen für mehrere Wohneinheiten (Synergie in der Ressourcennutzung)

5.10.4 Konzept für Neubauten

Die Verlegung von Leitungen für thermisch betriebene Haushaltsleitungen in bzw. zwischen Wohneinheiten bietet sich besonders für modular erweiterbare, nichtlasttragende Zwischenwände an, welche in ihrem konstruktiven Aufbau eine Installationsebene oder Installationsschacht aufweisen.

Planungsmerkmale für die Leitungsführung:

- Eine komplett vorgefertigte, leitungsführende Innenwand wird ausgeführt. Diese sollte auch für die Abtrennung von zwei Wohneinheiten geeignet sein. Hierfür ist eine sehr gute Schallschutzfunktion notwendig.
- Keine Durchbrüche auf der Baustelle. Vorfertigung aller Bauteildurchführungen.
- Standardisierte Anschlüsse aller thermisch betriebenen Haustechnikgeräte (z.B. ¾" Überwurfmutter für Warmwasser, Kaltwasser und Heizkreisanschlüsse).
- Die leitungsführende Innenwand sollte architektonisch so implementiert werden, dass eine gespiegelte Bauweise zweier Wohneinheiten möglich ist. → Anschluss eines „Haustechnik-Moduls".

Die Anbindung an die Infrastruktur soll dabei je nach Bedarf zentral über ein oder mehrere Haustechnik-Modul(e) erfolgen.

Versorgungskomponenten in einem Haustechnik-Modul:

- Anschluss an die thermische Versorgungsleitung des ZCV-Siedlungsverbandes (zentrale Solaranlage und zentrale Biomasse-Heizung).
- Anschluss an ein Stromnetz.
- Anschluss an ein Gasnetz (Biogas zum Kochen).
- „Energiespeicher", welcher Heizwasser (60-80°C) enthält. Dieser dient der Versorgung von Kühlschrank, Gefrierschrank und Trocknen.
- „Pufferspeicher" zur Abdeckung von Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf von mehreren Wohneinheiten.
- Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Luftwechselraten für jede Wohnung individuell einstellbar.
- Steuer- und Regeleinheit: Messtechnische Erfassung der Verbrauchswerte für jede Wohneinheit. Regelung der Ladezustände der Speicher über Kommunikation mit der Versorgungszentrale der Siedlung.

Für jede Wohnung befindet sich in einem Haustechnik-Modul:

- „Energiekreis“ mit Anschluss an „Energiespeicher“ (Pumpengruppe + Mischer)
- Heizwasserkreis mit Anschluss an „Pufferspeicher“ (Pumpengruppe + Mischer)
- Kaltwasseranschluss
- Warmwasseranschluss (mit Kaltwasser-Mischer)
- Elektro-Verteiler
- Gashaupthahn
- Bedieneinheit zur Regelung von Luftwechselrate, Beleuchtung und Heizung
- Grafische Anzeigeeinheit zur Visualisierung aller nutzerrelevanten Energieverbrauchswerte (wohnungsspezifisches Monitoring)

Für die architektonische Eingliederung solcher Haustechnik-Module in Wohnhäuser gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. Zu beachten sind die Bauteilgrößen der vorgefertigten Elemente (leitungsführende Innenwände) sowie Restriktionen, welche sich durch den Transport ergeben. Ein mögliches architektonisches Schema sieht wie folgt aus:

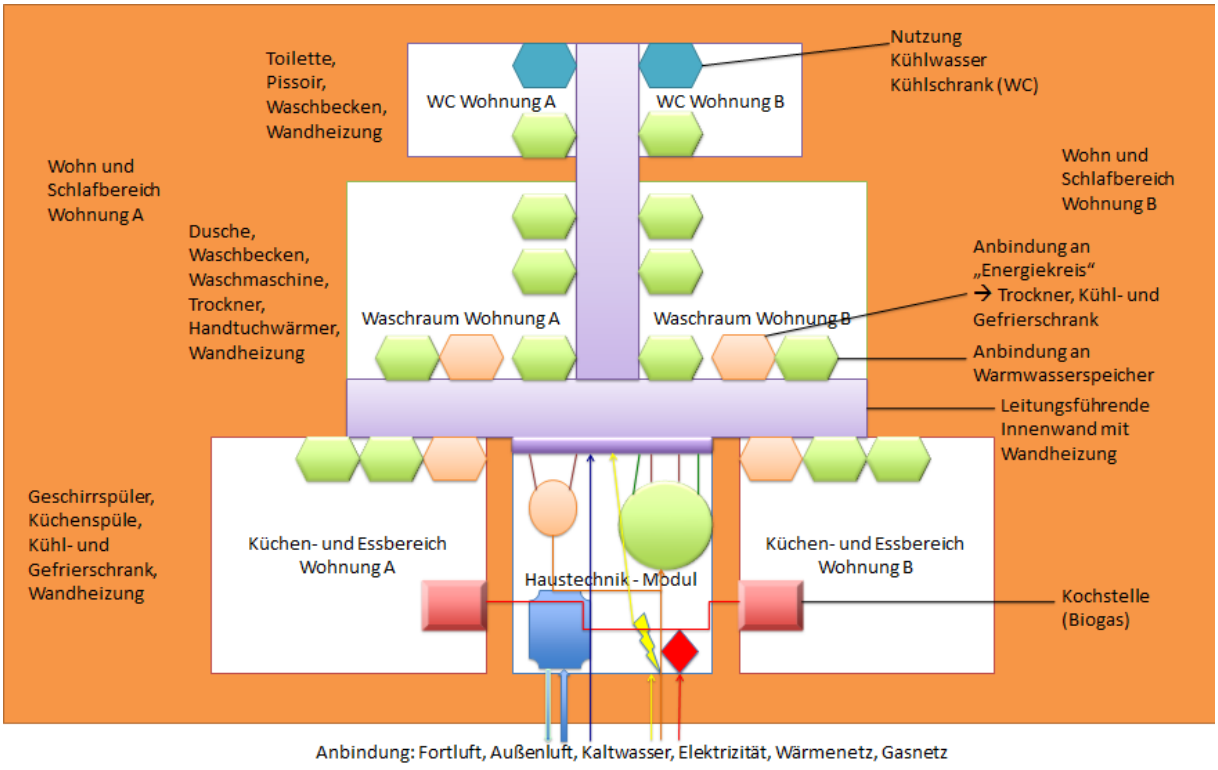


Abbildung 123: Beispielhaftes Schema für eine modulare Haustechnik-Installation

Folgende Leitungen sind in den leitungsführenden Innenwänden (= „Funktionswänden“) implementiert:

- Warmwasserzufuhr (Waschen, Spülen, Duschen, etc.)
- Kaltwasserzufuhr (Wärmesenke, Waschen, Spülen, Duschen, Trinken, etc.)
- „Energiekreis Vorlauf“ (Kühlen, Trocknen)
- „Energiekreis Rücklauf“ (Kühlen, Trocknen)
- „Wärmesenke“ (Kühlen, Trocknen) → kaskadische Nutzung als WC-Wasser

- 230V Stromleitung („Starkstrom“ nicht erforderlich)
- Biogas-Leitung für Kochen und Backen
- Abflussrohre

Die Kanäle für die Komfortlüftungsanlage (Raumzuluft und Raumabluft) sind in der Geschoßdecke zu implementieren.

Fazit bezüglich Leitungsführung:

- Für 2 Wohneinheiten reichen 2 „Haustechnik-Funktionswände“ aus, um alle thermischen Dienstleistungen zu ermöglichen:
  - Wand: Küche-Waschraum
  - Wand: Waschraum und WC
- Der Anschluss von Hydraulikleitungen einer Haustechnik-Modulbox mit den Funktionswänden sowie der Installationstrassen zweier Funktionswände ist über Steckverbindungen sinnvoll. Solche Leitungsverbindungen sind im Handel erhältlich.

Testanlage: Anordnung der Geräte und Leitungsführung

Auf Grundlage der baulichen Gegebenheiten wurden die Geräte wie nachstehend dokumentiert angeordnet. Dabei ist zu beachten, dass eine lasttragende Zwischenwand zur Verfügung steht. Deshalb mussten Leitungen zu den Endgeräten parallel für Küche und Waschraum gelegt werden. Eine WC-Anlage im Vorraum wird mit Wasser, welches der Rückkühlung im Trockner bzw. im Kondensator des ZCC dient, betrieben (Backup: Kaltwasseranschluss).

Die erforderlichen Hydraulikarmaturen (Pumpen, Mischer) sowie die Messtechnik befinden sich im Technikraum. Dort werden später die Komponenten ähnlich dem zuvor beschriebenen Haustechnik-Modul angeordnet.

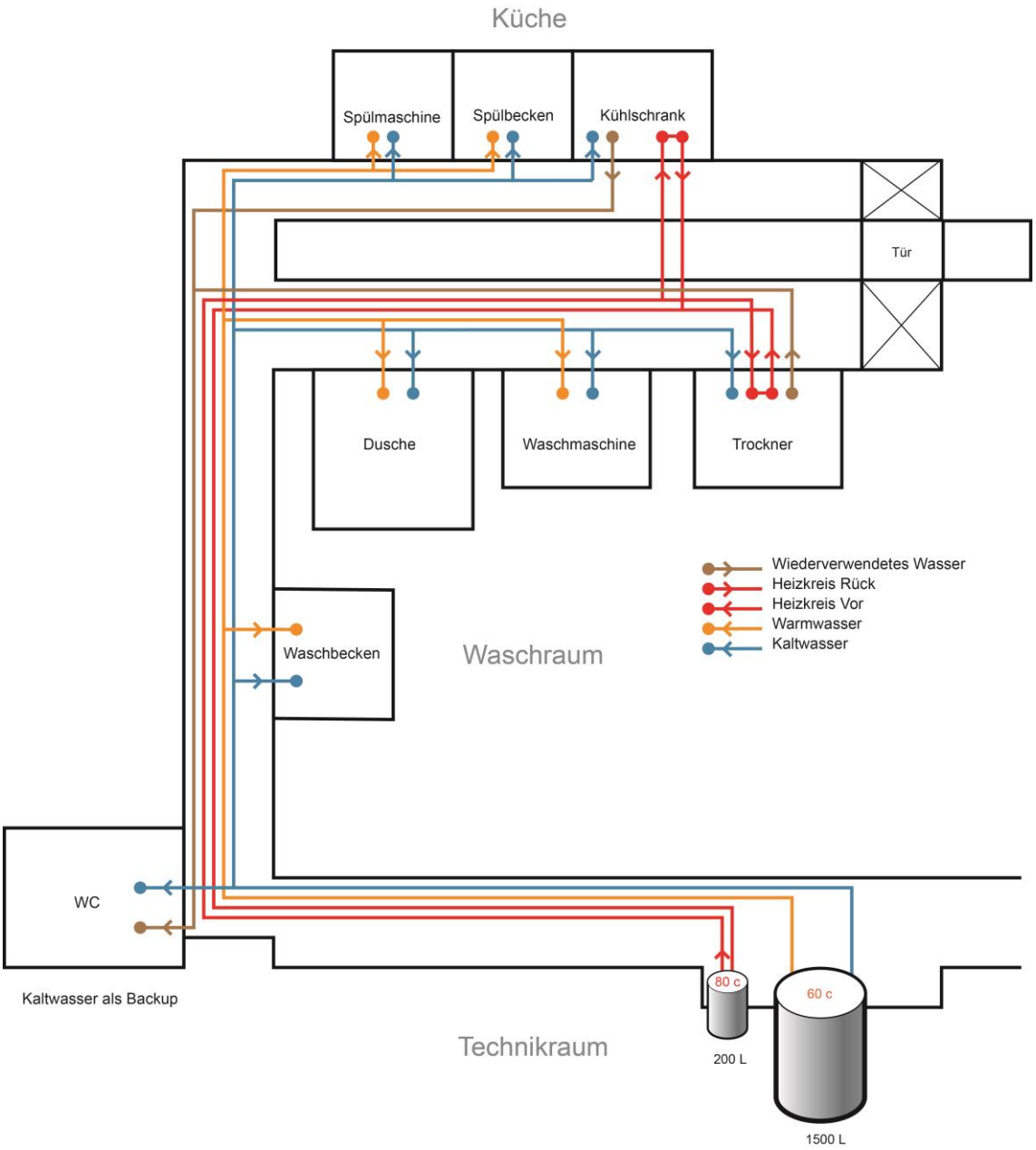


Abbildung 124: Lage der Energiedienstleitungen und Leitungsführung

Testanlage: Umsetzung der Leitungsführung im Altbau

Im folgenden Kapitel wird die praktische Umsetzung der Testanlage dokumentiert. Bis auf die räumlich getrennte Leitungsführung Warmwasser wurden sämtliche formulierten Überlegungen umgesetzt.

Im nachfolgenden Bild sind die Hydraulikleitungen gemäß ihrer Reihenfolge (von oben nach unten) im Waschraum zu sehen:

- Kaltwasser (ca. 10°C)
- Warmwasser (max. 60°C)
- „Energiekreis- Vorlauf“ (80°C)
- „Energiekreis- Rücklauf“ (ca. 60°C)
- „Wärmesenke“ (Nutzwasser)
- Abflussrohr

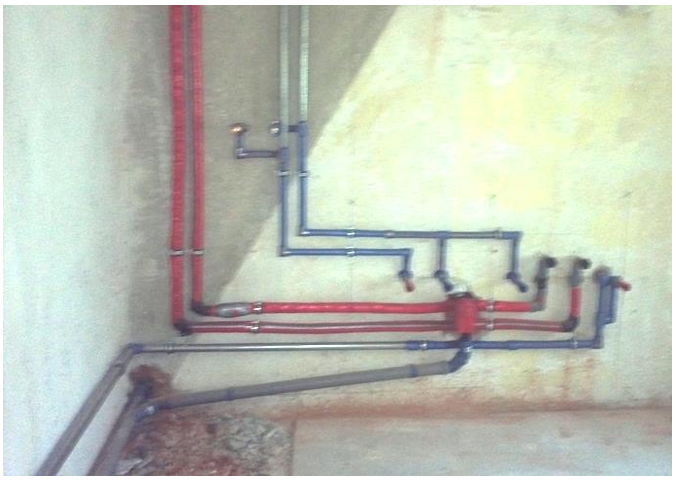


Abbildung 125: Rohrführung im Waschraum

Für die Küchenwand wurde ein zusätzlicher Durchbruch für den „Energiekreis“ gemacht, um die Leitungslängen kurz zu halten. Der Volumenstromabgleich zwischen dem ZCC und dem Trockner wird mittels Strangregulierventilen im „Energiekreis – Rücklauf“ sichergestellt.

Abbildung 126: Rohrführung in der Küche

Im nächsten Schritt wurden Stromkabel und Datenleitungen (zur Bedarfsanforderung von Trockner und Kühlschrank) gelegt.
Für die Wandkonstruktion wurde ein Aufbau aus Holzstehern (240cm x 5cm x 10cm) mit Lehmbau-Trockenplatten ausgewählt. Im Sinne einer angestrebten Trockenbauweise für modular vorgefertigte Komponenten kann die Wahl der Baustoffe beliebig variieren. Lehmplatten haben jedoch speziell in Feuchteräumen den Vorteil, dass sie, neben ihrer Eigenschaft als Wärmepuffer, feuchtigkeitsregulierend wirken.

Abbildung 127: Holzkonstruktion für Wandtrockenbau

Die Lehmplatten werden an Stößen und Kanten mithilfe von Jutematten und/oder Glasfasermatten ausgesteift. Hierzu werden die Matten mit einer Lehmschlemme aufgearbeitet. Den Abschluss des Putzes bildet ein Feinputz, welcher mit Farbpigmenten versehen oder mit diffusionsoffenen Anstrichen bemalt werden kann.
Lediglich dort, wo Spritzwasser auftreten kann (um das Waschbecken, Duschwand), muss auf eine andere Art des Wandverputzes zurückgegriffen werden. Hierzu eignet sich z.B. ein Kalkgrobputz, der mit Kalkglätte versiegelt werden kann.

Abbildung 128: Oberflächengestaltung im Waschraum

Somit konnten durch den Einsatz von modernen ökologischen Baustoffen Räumlichkeiten für die erforderliche Nutzung zu Testzwecken geschaffen werden.
In weiterer Folge ist für Fertigstellung der Prototyp-Testanlage die Entwicklung und Errichtung der Energieversorgung mit einem entsprechenden anpassbaren Regelungskonzept gemäß den Ergebnissen aus der vorangegangen Konzipierung und Bilanzierung durchzuführen.

6 Strohballen als Dämmstoff im Zero Carbon Village

Basierend auf den Ergebnissen des Projekts „Stroh-Cert: Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau“ (Wimmer et al. 2011) und der in dessen Rahmen erarbeiteten Österreichischen Technischen Zulassung (ÖTZ) erfolgte die Weiterentwicklung von Baustrohballen in Richtung Modulsystem und Vorfertigung.

Die **Eigenschaften und Qualitätskriterien** der zertifizierten Baustrohballen sind in Kapitel 6.1 dargestellt.
Wesentlich für eine hochwertige und sichere Anwendung ist die **Qualitätssicherung** während Herstellung, Transport und Verarbeitung. Dafür wurden zunächst verschiedene Messmethoden (zur Überprüfung von Feuchte, Masse usw.) getestet und verglichen und Möglichkeiten zur durchgängigen Dokumentation erarbeitet (Kapitel 6.2–6.4).
In einem nächsten Schritt müssen diese Qualitätssicherungsmaßnahmen in den Herstellungsprozess logistisch integriert werden – wann werden die Strohballen überprüft und von wem? Verschiedene **Prozessketten für die Produktion und Qualitätskontrolle** werden in Kapitel 6.5 verglichen.
Schließlich muss das **Produktionsverfahren** so verbessert werden, dass qualitativ hochwertige Strohballen in den passenden Formaten hergestellt werden können. Zu diesem Zweck wurden Versuche mit verschiedenen Strohballenpressen und für mehrere Formate durchgeführt (Kapitel 6.6).
Nachdem die Vorfertigung ein wesentlicher Bestandteil des Zero Carbon Village ist, sollen auch die Strohballen an die Fertigteilbauweise angepasst werden. Dafür wurden Prototypen von **strohballengedämmten Fertigteilen** hergestellt und die Möglichkeiten einer Zertifizierung eruiert (Kapitel 6.7).

6.1 Eigenschaften und Qualitätskriterien von Baustrohballen

Baustrohballen sind quaderförmige, mechanisch gebundene Produkte aus Getreidestroh, die mit einer geeigneten Presse durch ein Verdichten (Pressen) in Längsrichtung hergestellt und mit mindestens zwei Garnen, Schnüren oder Bändern beim Erreichen der gewünschten Länge abgebunden werden.
Die Qualitätsstandards für Baustrohballen wurden bereits in Voruntersuchungen ermittelt und im Rahmen des Projekts „Stroh-Cert“[17] zusammen mit Experten der Baubehörde und einem akkreditierten Prüfinstitut für den Dämmstoff „S-HOUSE Ballen“ definiert. Die Produktanforderungen, die Lager- und Transportbedingungen sowie die Qualitätskontrolle während des gesamten Prozesses der „S-HOUSE-Ballen“ dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung der Strohballen für die Verwendung im Zero Carbon Village. Ausgehend von den Anforderungen an die Zertifizierung der „S-HOUSE Ballen“ wurden folgende Qualitätskriterien definiert:

[17] Wimmer et al. 2011.

Tabelle 38: Definition des S-HOUSE Ballens für die Zertifizierung

Qualitätskriterium	Definition für die Zertifizierung
Strohart	Getreidestroh (z. B. Weizen, Gerste, Roggen, Dinkel, Triticale)
Grünes Beikraut	Sollte nicht vorhanden sein
Restkornanteil	< 0,5 Gew.-%
Farbe	Optimalerweise goldgelb
Feuchte	< 14 %
Dichte	Mindestens eine Rohdichte von 100 kg/m³
Abmessungen	Länge: 30–85 cm Breite: 30–130 cm Höhe: 30–130 cm
Mechanische Bindung	mit mindestens zwei Garnen, Schnüren oder Bändern

Sollte es für den Fertigteilhausbereich zu einer Änderung der Baustrohballen kommen, dann sind die Anforderungen an den Dämmstoff in Zusammenarbeit mit der Baubehörde anzupassen bzw. neu zu definieren.
Es ist sicherzustellen, dass bei Lagerung und Transport die Qualitätskriterien eingehalten werden und es zu keiner Beeinträchtigung durch z.B. Witterungseinflüsse oder mechanische Beanspruchung kommt.

6.1.1 Lagerung

Die Grundregel für die Lagerung von Baustrohballen lautet, dass die Materialfeuchte der Ballen 14 % nicht übersteigen darf. Dies kann durch eine Lagerung unter Dach und durch einen Schutz gegen aufsteigende Feuchtigkeit wie z.B. die Verwendung von Paletten erreicht werden. Bei Strohballenlagern, die keinen Schutz gegen Bodenfeuchte aufweisen, darf die zuunterst gelagerte Ballenschicht nicht für Bauzwecke verwendet werden, da durch die aufsteigende Bodenfeuchte die Qualität der Ballen stark vermindert werden kann. Eine regelmäßige Kontrolle des Lagerklimas (Feuchte und Temperatur) sollte durchgeführt werden.

6.1.2 Transport

Der Transport von Baustrohballen ist so durchzuführen, dass die Ballen nicht durch Witterungseinflüsse beeinträchtigt werden. Es darf, wie bei der Lagerung, zu keinem Eindringen von Feuchtigkeit in den Ballen kommen. Die Ballen sind deshalb in einem geschlossenen oder in einem offenen Wagen mit Abdeckung wie z.B. einer wasserdichten Plane zu transportieren. Die Nutzung eines offenen Wagens sollte nur bei Strecken kurzer Distanz und bei trockener Witterung erfolgen.

Das Be- und Entladen der Strohballen ist ebenfalls produktschonend durchzuführen, sodass es bei der Verwendung von Hilfsgeräten zu keiner mechanischen Beanspruchung der Ballen kommt.

6.2 Qualitätssicherung

Die Qualitätskontrolle der Strohballen ist erforderlich, um nachzuweisen, dass die Ballen die deklarierten Eigenschaften lt. Österreichischer Technischer Zulassung ÖTZ-2010/015/6 vom 2. November 2010 erfüllen.

Während Produktion, Lagerung und Transport ist die Qualität der Baustrohballen regelmäßig zu kontrollieren. Für einen Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen und damit auch für Baustrohballen gelten die Wärmeleitfähigkeit, die Schimmelbeständigkeit und das Brandverhalten als die wichtigsten Materialeigenschaften. Diese Eigenschaften werden zum einen durch den verwendeten Rohstoff und zum anderen durch die Eigenschaften des produzierten Rohstoffs beeinflusst. Bei der Herstellung von Dämmstoffen aus Stroh ist daher die Qualität des Rohstoffes hinsichtlich Strohart, Farbe, Feuchte, grünes Beikraut und Restkornanteil zu überprüfen sowie auch das fertige Produkt selbst in Bezug auf Farbe, Feuchte, Rohdichte und mechanische Bindung.

Die Abhängigkeiten der Materialeigenschaften von den beeinflussenden Kriterien sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt (vgl. Wimmer et al. 2011).

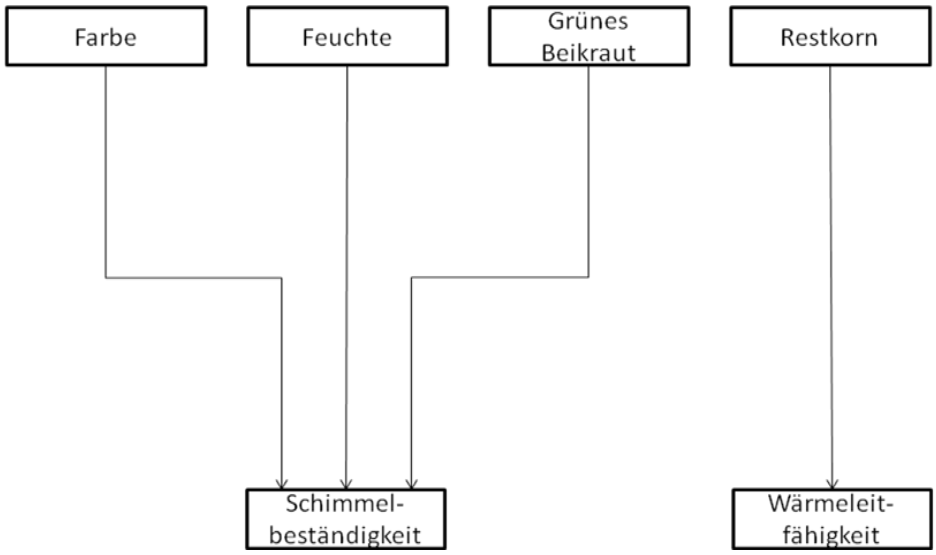


Abbildung 129: Qualitätsfaktoren für den Rohstoff Stroh (Wimmer et al. 2011)

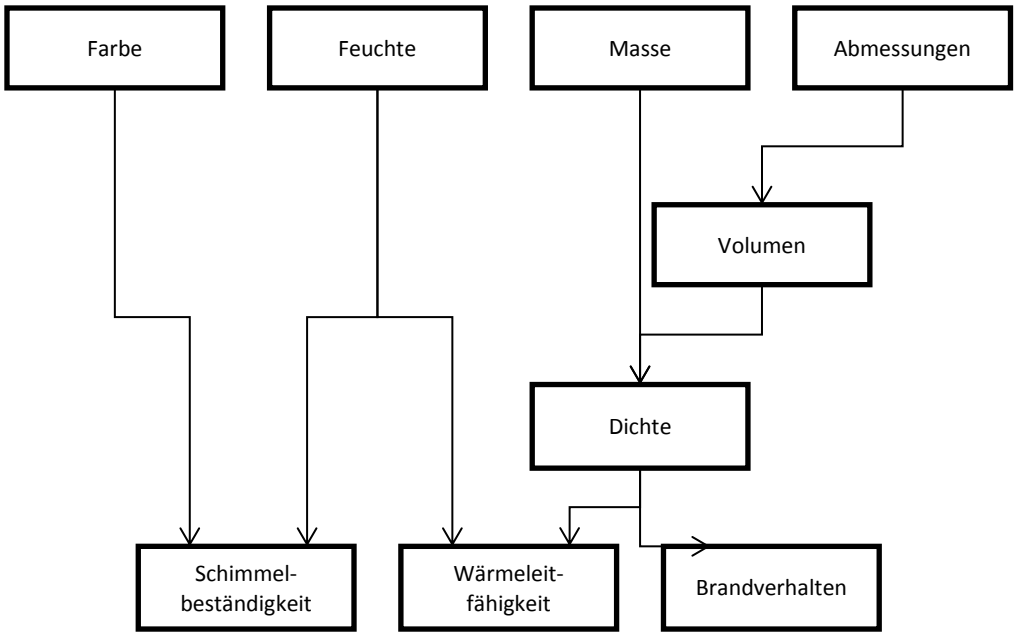


Abbildung 130: Qualitätsfaktoren für das Produkt Dämmstrohballen (Wimmer et al. 2011)

Die Qualität der Strohschwade ist vor der Herstellung der Strohballen zu überprüfen und die Qualität der Ballen optimalerweise während bzw. unmittelbar nach der Herstellung, um bei Bedarf entsprechende Änderungen durchzuführen. Sollten die Strohballen weitere Produktionsschritte wie z.B. eine Zwischenlagerung durchlaufen, dann ist eine erneute Kontrolle des Produktes erforderlich. Der exakte Prüfumfang ist im Prüfplan der Zertifizierung festgelegt.

6.3 Messmethoden

Eine Reihe von Messgeräten wurde auf eine mögliche Verwendung für eine Überprüfung der Qualitätskriterien von Baustrohballen getestet.

Die nachfolgende Liste enthält einige der überprüften Geräte, die von der Messgenauigkeit und der zeitlichen Durchführung der Prüfung für einen Einsatz während der laufenden Produktion auf dem Feld wie auch für eine Überprüfung des Dämmstoffes bei der Lagerung und dem Transport geeignet sind.

Weiters wurden diese Geräte auf Anwendbarkeit bei Groß- und Kleinballen, elektronische Datenspeicherung, Messung auf dem Feld und automatische Flächen- und Volumenberechnung untersucht.

Tabelle 39: Relevante Messgeräte zur Überprüfung der Qualitätskriterien von Baustrohballen

Qualitätskriterium	Feuchte	Masse 1	Masse 2	Abmessungen 1	Abmessungen 2
Messgerät	Humimeter FLW	Hängewaage	Bodenwaage	Maßband	Laserliner LRM 60
Messverfahren	Leitfähigkeits-verfahren	Massebestimmung durch Wägen	Massebestimmung durch Wägen	Manuell	Laser
Anwendbar für Kleinstrohballen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Anwendbar für Großstrohballen	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja
Elektronische Datenspeicherung	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja
Messung auf dem Feld	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja
Automatische Flächen- und Volumenberechnung	-	-	-	Nein*	Ja

*Dichtetabelle als Rechenhilfe möglich

6.3.1 Messung der Feuchte

6.3.1.1 Humimeter

Für die Messung der Materialfeuchte von Baustrohballen eignet sich besonders das Messgerät „Humimeter FLW“ der Firma Schaller. Der Feuchtegehalt wird bei diesem Messgerät indirekt über die Leitfähigkeit des zu untersuchenden Materials bestimmt.

Die Problematik bei diesem Messverfahren ist, dass die elektrische Leitfähigkeit nicht nur von der Feuchte, sondern z.B. auch von der Dichte, der Materialstruktur, dem Salzgehalt und der Temperatur abhängig ist. Für jedes Material ist deshalb eine eigene Kalibrierungskurve erforderlich. In Zusammenarbeit mit der Firma Schaller wurde daher eine Kalibrierungskurve speziell für Strohballen erstellt, mit welcher über die elektrische Leitfähigkeit eine quantitative Aussage über die Ballenfeuchte gemacht werden kann.

Abbildung 131: Links: Humimeter FLW im Messkoffer; Rechts: Humimeter FLW bei der Messung

6.3.1.2 Mikrowellen-Feuchtesensor

Die Feuchtemessung im Rahmen der Qualitätskontrolle nach dem Prüfplan der ÖTZ für Baustrohballen ist mit dem Humimeter FLW möglich. Aber besonders in Hinblick auf eine Produktion im größeren Maßstab ist eine effizientere und verlässlichere Überprüfung und Dokumentation der Produkte anzustreben.

Für eine Verbesserung der Qualitätskontrolle während des Herstellungsprozesses von Baustrohballen wurden deshalb Versuche mit dem Mikrowellen-Feuchtesensor MOIST PP der Firma HF Sensor durchgeführt. Der wesentliche Vorteil bei diesem Prozessfeuchtemessgerät ist, dass mit dem Sensor quasi „berührungslos“ gearbeitet werden kann und die ermittelten Werte online angezeigt werden können.

Bei diesem Sensor werden vom Messkopf elektromagnetische Wellen in einem Bereich zwischen 2,5 und 20 GHz ausgesandt, und abhängig vom Wassergehalt des Materials wird die Wellenenergie absorbiert, weitergeleitet oder reflektiert, wodurch der volumetrische Wasseranteil der Strohballen ermittelt werden kann.
Ausgehend von den ersten Versuchen im Projekt Stroh-Cert wurde der MOIST PP Mikrowellen-Feuchtesensor an einer Großballenpresse montiert, um online Feuchtemessungen während des Herstellungsprozesses der Strohballen durchzuführen.
Der zusätzliche Arbeitsschritt des Einführens der Stechelektrode in den Ballen wie bei dem Humimeter ist bei diesem Sensor nicht erforderlich.
Für die Durchführung der Feuchtigkeitsmessungen während des Herstellungsprozesses von Strohballen wurde der Mikrowellen-Feuchtesensor MOIST PP an der Seitenwand des Presskanals einer neuen Hochleistungs-Großballenpresse montiert. Verwendet wurde dafür eine Presse des Type MF 2190 der Firma Massey Ferguson. Die Befestigung des Sensors erfolgt mit einer Spannklemme an einen Schweißring am Presskanal und kann daher nach Bedarf problemlos demontiert werden.

Abbildung 132: Links: Eingebauter Sensor außen; Rechts: Sensorkopf innen

Über das Sensorkabel, welches den Sensor mit Strom versorgt, werden gleichzeitig die gemessenen Daten an das Speichermedium in der Fahrerkabine übertragen. Dieses verfügt ebenfalls über eine Digitalanzeige, auf welcher der Fahrer die aktuell gemessenen Werte online überwachen kann. Gestartet und gestoppt kann die Messung mit einem Notebook über eine RS232-Schnittstelle. Das Auslesen der gespeicherten Daten erfolgt mit einer entsprechenden Software (siehe Abbildung 133)
Nach einer kurzen Grobkalibrierung des Sensors durch die Herstellerfirma wurde mit der Messung bei der Ernte begonnen. Zum Vergleich wurden die Strohballen sowohl mit dem Humimeter FLW als auch im Labor nach dem Darr-Verfahren im Trockenschrank überprüft.

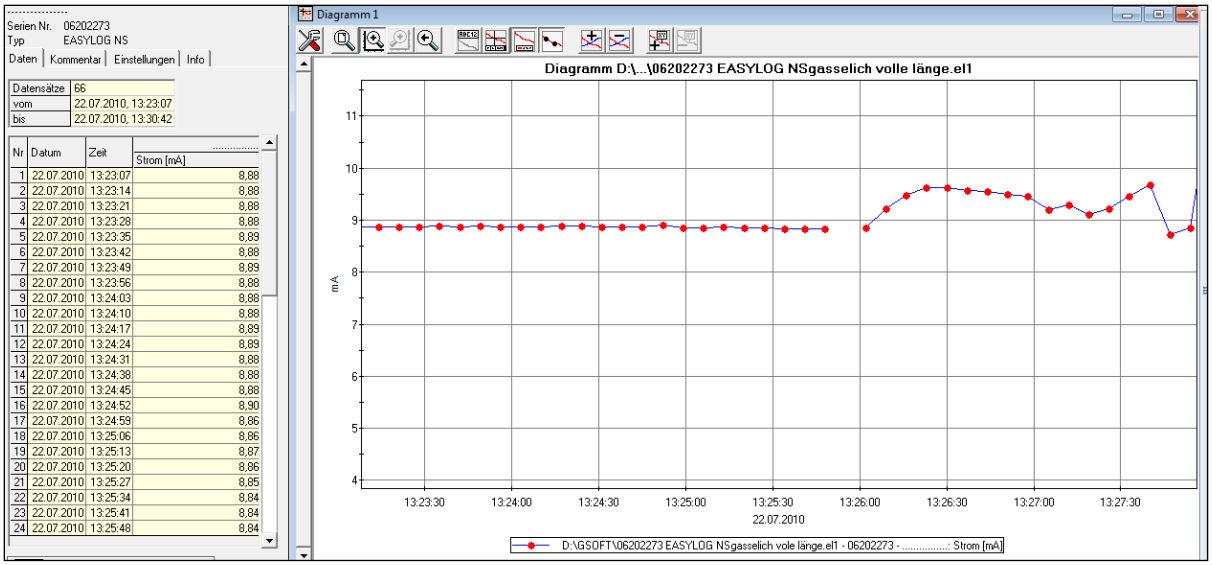


Abbildung 133: Auszug aus dem Messprotokoll des Feuchtesensors

Nach einer anfänglichen Messung relativ konstanter Werte bei einem Intervall von 2 und 5 Sekunden (siehe Abbildung 133) traten in weiterer Folge deutliche Schwankungen auf. Auch die parallel durchgeführte Messung mit dem Humimeter sowie die Referenzmessung im Trockenschrank nach dem Darr-Verfahren ergaben keine deutlichen Übereinstimmungen. Für weitere Feuchtemessungen ist eine Feineinstellung der Kalibierkurve für das Material Stroh bzw. für Strohballen mit diesem Sensor notwendig.

Wegen des kurzen Erntezeitfensters für Strohballen auf der einen Seite und der umfassenden benötigten Anzahl von Messungen und Referenzmessungen auf der anderen Seite sowie der Witterungseinflüsse war die Erstellung einer Kalibierkurve während der Produktion auf dem Feld nicht möglich. Für die Durchführung dieser umfangreichen Messungen sind konditionierte Strohballen sowie eine stationäre Presse für eine ganzjährige Produktion erforderlich.

6.3.2 Messung der Masse

Für die Bestimmung der Masse der Strohballen ist eine Waage erforderlich. Abhängig von der Größe bzw. vom Gewicht der Ballen können verschiedene Typen von Waagen verwendet werden. Für die Gewichtsbestimmung von Kleinballen auf dem Feld eignet sich besonders eine Hängewaage, da diese schnell und einfach von einer Person ohne zusätzliche Hilfsmittel bedient werden kann. Alternativ kann auch eine Kranwaage verwendet werden, welche bei Messungen auf dem Feld an einem Frontlader oder bei Messungen im Lager z.B. an einem Gabelstapler befestigt werden kann (siehe Abbildung 134). Die Kranwaagen sind auch für den Einsatz bei Strohballen größerer Formate geeignet.

Abbildung 134: Kranwaage

Moderne Hochleistungs-Großballenpressen wie z.B. die Massey Ferguson 2190 können hingegen bereits optional mit einem integrierten Wiegesystem ausgestattet werden. Die verwendete Presse verfügt jedoch nur über ein Messsystem mit einem Genauigkeitsbereich von ± 25 kg.

Für die Massebestimmung bei der Qualitätskontrolle im Lager steht eine größere Anzahl an geeigneten Waagen zur Auswahl. Alternativ zu den auf dem Feld verwendeten Hängewaagen können hier für die Gewichtsbestimmung auch stationäre Bodenwaagen zum Einsatz kommen (siehe Abbildung 135).

Abbildung 135: Stationäre Bodenwaage zur Massebestimmung im Lager

6.3.3 Bestimmung der Abmessungen

Eine Bestimmung der Strohballenabmessungen mit den für die Zertifizierung zulässigen Formaten kann entweder manuell oder mit einem elektronischen Distanzmessgerät erfolgen.

Bei der manuellen Bestimmung der Abmessungen der Strohballen kann entweder ein konventionelles Maßband oder eine Teleskopschiebelehre, wie sie bereits im Rahmen eines mobilen Prüflabors für die Bemessung von Klein- und Großstrohballen entwickelt wurde (vgl. Wimmer et al. 2001), verwendet werden. Für eine schnelle Bestimmung der Dichte während der Produktion kann eine vorgefertigte Dichtetabelle verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit für die Vermessung von Strohballen sind Laser-Entfernungsmessgeräte, da sie zum einen sehr handlich sind und mit ihnen sowohl weite

Entfernungen als auch kurze Distanzen ohne großen Aufwand in sehr kurzer Zeit präzise bestimmt werden können. Bei diesem Messprinzip wird über die Zeit die Entfernung ermittelt, welche reflektiertes Licht vom anvisierten Punkt zurück zur Sendequelle benötigt.
Der LaserRangeMaster LRM 60 ist aufgrund seiner kompakten Form und seines leichten Gewichts besonders für den Einsatz auf dem Feld geeignet.

Abbildung 136: LaserRangeMaster LRM 60

Aufgrund seines Messbereichs von 0,3 bis 60 m kann dieses Messgerät sowohl für die Vermessung von Klein- als auch von Großballen verwendet werden. Zusätzlich verfügt er gegenüber der Vermessung mit einem Maßband über eine elektronische Datenspeicherung mit der Option für eine automatische Flächen- und Volumenberechnung.

6.3.4 Dichte der Baustrohballen

Die Baustrohballen müssen entsprechend der Österreichischen Technischen Zulassung für die Brandbeständigkeit eine Dichte von mindestens 100 kg/m^3 aufweisen. Im Bereich der Kleinstrohballen ist dadurch die Verwendung einer Hochdruck-Kleinballenpresse erforderlich. In der nachfolgenden Tabelle sind einige Pressen der Firmen Welger, Massey Ferguson und John Deere aufgelistet, die laut Angaben des Herstellers Strohballen mit der benötigten Dichte herstellen können.

Tabelle 40: Kenndaten von HD-Kleinballenpressen (Krick 2008)

Modell	Ballengröße (HxBxT) [cm]	Dichte [kg/m^3]	Durchsatz [t/h]	Knoter [Stück]	Kraftbedarf [Zapfwelle, kW]
Firma: Welger					
AP 530	36x48x50-120	110	12	2	30
AP 630	36x49x50-120	120	15	2	40
AP 730	36x49x50-120	120	18	2	45
AP 830	36x49x50-120	120	20	2	50

Firma: Massey Ferguson					
Freeman 300	38x56x46-132	270	18	3	48
Series	41x56x46-132	270	18	3	48
Firma: John Deere					
349	36x46x30-130	100	k. A.	2	30
359	36x46x30-130	100	k. A.	2	35
459	36x46x30-130	115	k. A.	2	45

6.4 Dokumentation mittels RFID

Im Rahmen des Qualitätsmanagements für eine optimierte Produktkennzeichnung und Rückverfolgbarkeit wurde die Verwendung der RFID-Technologie (Radio Frequency Identification) für Strohballen untersucht. Die logistische Abwicklung zwischen Herstellung, Transport und Lagerung von Strohballen mit einem RFID-System würde die Überwachung und Rückverfolgbarkeit von Strohballen enorm verbessern, da jeder Ballen elektronisch markiert wird und zu jeder Zeit die aktuellen Daten von jedem Produkt abgefragt werden könnte. Mit einem RFID-System können Daten von Objekten ausgelesen oder auf diesen gespeichert werden, ohne dass eine Berührung oder sogar ein visueller Kontakt notwendig ist. Auf diese Weise ist es sogar möglich, Informationen von bereits in eine Wandkonstruktion eingebauten Strohballen abzurufen.

Für ein Massenprodukt wie Baustrohballen kommt aus wirtschaftlichen Gründen nur ein passiver RFID-Transponder infrage. Diese besitzen im Gegensatz zu den aktiven Transpondern keine eigene Energiequelle und sind daher deutlich kleiner und günstiger.

Bei der Verwendung an Baustrohballen ist vor allem die Befestigung der Transponder genauer zu untersuchen. Da für das Lesen und Beschreiben der Transponder weder Berührung noch visueller Kontakt erforderlich ist, bietet sich die Möglichkeit an, diese bei der Produktion der Strohballen zwischen zwei Pressschichten einzubringen. Eine zusätzliche Herausforderung hierbei ist, den Transponder an einer Schnur zu befestigen, damit er im Fall einer Entsorgung der Strohballen ohne großen Aufwand wiedergefunden und getrennt vom Stroh entsorgt werden kann. Entsprechende Versuche wurden bereits mit einer Kleinballenpresse durchgeführt; weitere Versuche sind jedoch notwendig. Für die Einpressung der Transponder in den Strohballen bei laufender Produktion ist in jedem Fall die Entwicklung einer Zubringereinheit erforderlich. Die Aufbringung auf einem stabileren Material wie Biokunststoff könnte auch zu einem besseren Schutz der Transponder beitragen. Der Aufwand für die Entwicklung dieser Zubringereinheit wäre in weiterer Folge zu eruieren.

Nach den ersten Testläufen ist aufgrund der erhöhten Schwierigkeit für das Einpressen der Transponder in den Ballen aber auch eine nachträgliche Befestigung der Transponder an der mechanischen Bindung in Betracht zu ziehen, auch wenn dafür ein zusätzlicher Arbeitsschritt erforderlich ist. Während der Vorauswahl für mögliche Befestigungsarten an der mechani-

schen Bindung präsentierte die Firma New Holland im Rahmen der SIMA Innovation Awards 2011 ihr entwickeltes Etikettiersystem „Crop ID“ auf Basis der RFID-Technologie (New Holland o.J.). Bei diesem System wird der Strohballen in der Presskammer beim Knüpfen des zweiten Knotens mit einem RFID-Transponder an der mechanischen Bindung versehen, welcher nach dem Verlassen der Kammer mit Daten beschrieben werden kann. Das Lesen der Daten ist wie bei allen RFID-Systemen zu jedem Zeitpunkt möglich und erlaubt dem Anwender das Herunterladen eines Protokolls für jeden einzelnen Strohballen und ermöglicht somit eine lückenlose Rückverfolgbarkeit. Dieses System wurde speziell für die Großballenpressen der Serie BB9000 entwickelt. Die Überprüfung der Adaptierbarkeit dieser Etikettiermaschine soll in die weiterführende Entwicklung einer optimalen Presse im Hinblick auf die Produktion von Baustrohballen nach den Anforderungen der Österreichischen Technischen Zulassung integriert werden.

Abbildung 137: Links: Etikettiermaschine „Crop ID“; rechts: Lesegerät (Quelle: New Holland o.J.)

6.5 Prozessketten für die Produktion und Qualitätskontrolle von Baustrohballen

Im Vorgängerprojekt Stroh-Cert (vgl. Wimmer et al. 2011) wurde eine Prozesskette für die Qualitätskontrolle während der Herstellung von Baustrohballen auf dem Feld erarbeitet. Aufgrund des kurzen Erntezeitfensters, der Witterungsabhängigkeit, der großen Anzahl an interessierten Produzenten und der begrenzten Anzahl an qualifizierten Prüfern wäre es jedoch aus organisatorischen Gründen schwierig, die Qualitätskontrolle und die umfassende Zertifizierung bei mehreren Landwirten zugleich auf dem Feld durchzuführen. Deshalb wurden für den Standort des Zero Carbon Village drei weitere mögliche Überprüfungsszenarien erarbeitet. Im Nachfolgenden sind Prozessketten der insgesamt vier Szenarien sowie deren Vor- und Nachteile dargestellt. Relevant sind dabei die Schnittstellen zwischen den Akteuren sowie die Definition von Verantwortlichkeiten.

6.5.1 Qualitätskontrolle durch den Zertifikataussteller während der Produktion

Die Kontrolle und Dokumentation erfolgt in diesem Szenario durch einen Prüfer des Zertifikatausstellers. Im Fall der Österreichischen Technischen Zulassung für „S-HOUSE Ballen“ ist dies die *GrAT*. Zum einen ist der Rohstoff Stroh im Schwad bzgl. Strohsorte, Feuchte, Restkorngehalt und grünen Beikrauts zu überprüfen und zum anderen die Strohballen während des Herstellungsprozesses bzgl. mechanischer Bindung, Gewicht, Abmessungen, Dich-

te und Feuchte. Bei einer anschließenden längeren Zwischenlagerung ist erneut die Materialfeuchte der Ballen zu überprüfen.

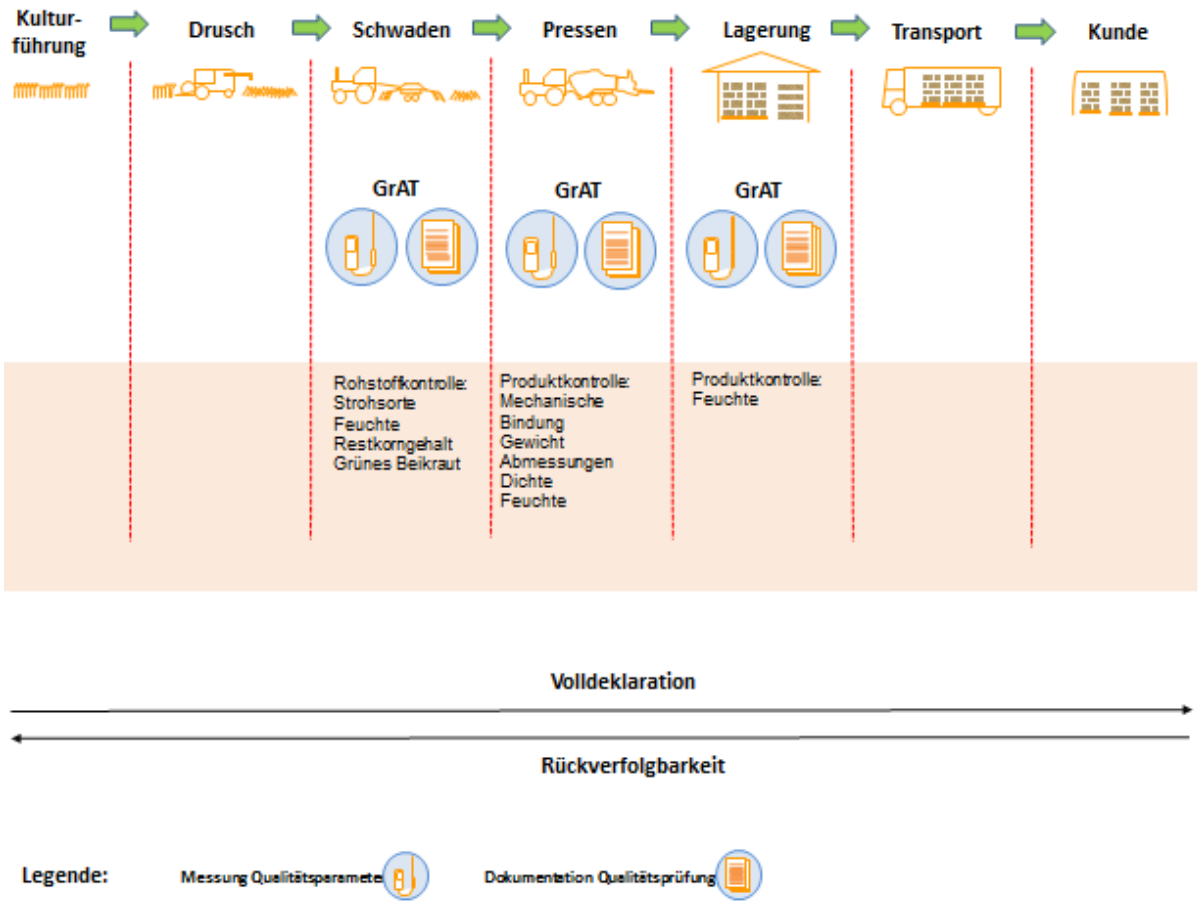


Abbildung 138: Prozesskette – QM durch GrAT während der Produktion

Vorteile:

- Kontrolle und Dokumentation wird durch einen geschulten und erfahrenen Prüfer vom Zertifikatsausteller durchgeführt.
- Ballen, die nicht den Anforderungen entsprechen, können umgehend aussortiert werden, bzw. die Einstellungen der Presse können geändert werden, um die Anforderungen der ÖTZ zu erfüllen.
- Eine Schulung für den Landwirt vor dem Beginn der Ernte ist nicht notwendig.
- Eine Anschaffung von Prüfgeräten für den Landwirt ist nicht notwendig.
- Baustrohballen können regional vom Produzenten vertrieben werden.

Nachteile:

- Keine Prüfgarantie aufgrund der nicht vorhersehbaren Produktionstage und der begrenzten Anzahl der Prüfer.

6.5.2 Qualitätskontrolle durch Landwirte während der Produktion

Die Kontrolle und Dokumentation des Rohstoffes Stroh im Schwad bzgl. Strohsorte, Feuchte, Restkorngehalt und grünen Beikrauts sowie die Kontrolle der Strohballen während der Pro-

duktion bzgl. mechanischer Bindung, Gewicht, Abmessungen, Gewicht, Dichte und Feuchte erfolgen durch einen geschulten Landwirten entsprechend den Anforderungen der ÖTZ.
Im Anschluss an die Herstellung der Ballen ist am Produktausgang zusätzlich eine stichprobenartige Überprüfung der Qualitätskontrolle des Landwirtes bzgl. Strohsorte, Gewicht, Abmessungen, Dichte und Feuchte durch einen Prüfer des Zertifikatausstellers erforderlich.

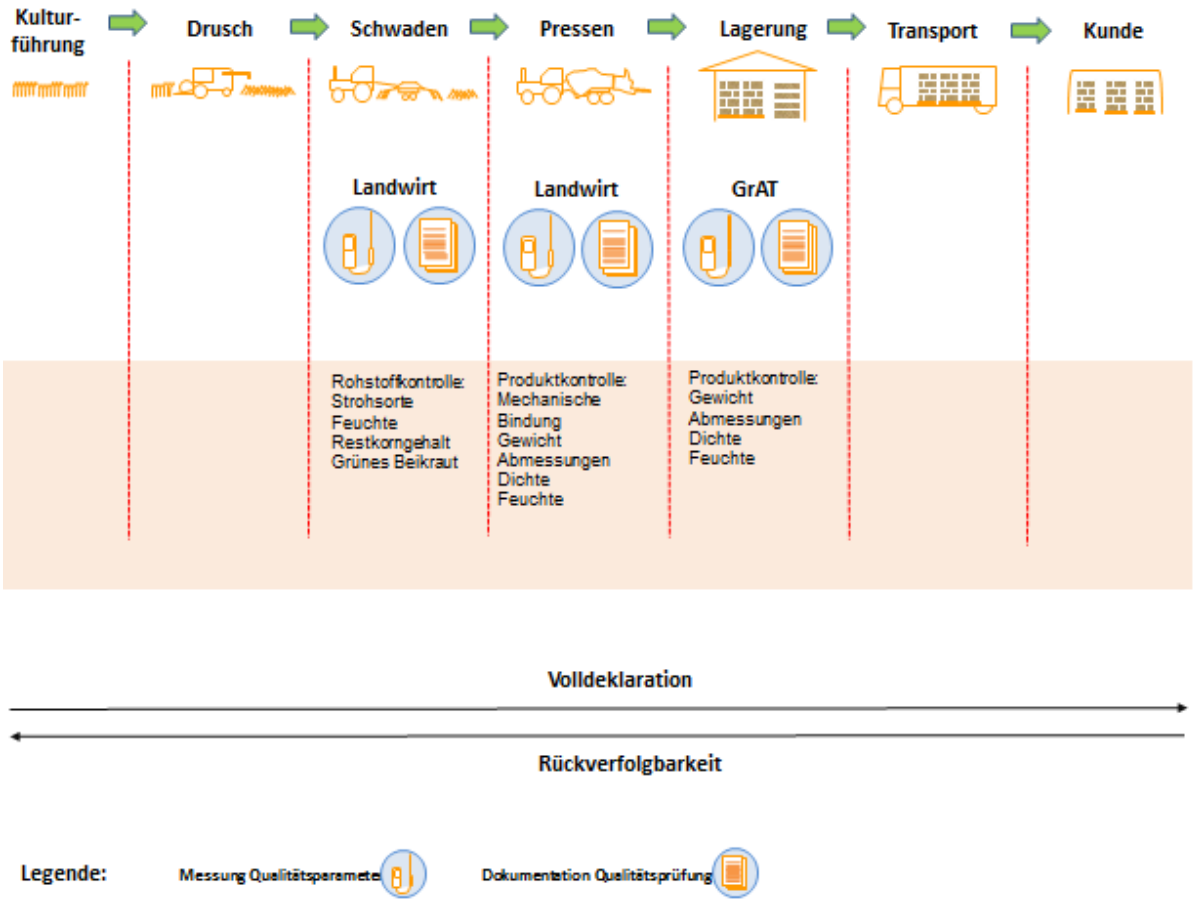


Abbildung 139: Prozesskette – QM durch Landwirte während der Produktion

Vorteile:

- Unabhängigkeit der Landwirte bei der Produktion von Baustrohballen bzgl. Produktionsbeginns, Anzahl der Presstage oder des Ortes.
- Überwachung der Qualitätskontrolle des Landwirtes durch einen Prüfer kann zu jedem Zeitpunkt nach der Produktion durchgeführt werden.
- Ballen, die nicht den Anforderungen entsprechen, können umgehend aussortiert werden, bzw. die Einstellungen der Presse können geändert werden, um die Anforderungen der ÖTZ zu erfüllen.
- Baustrohballen können regional vom Produzenten vertrieben werden.

Nachteile:

- Eine entsprechende Schulung des Landwirtes ist vor dem Beginn der Ernte erforderlich.
- Die Anschaffung von Prüfgeräten ist für den Landwirt notwendig.
- Eine Überprüfung der Qualitätskontrolle des Landwirtes ist notwendig.

- Keine Zertifikatsvergabe, falls die Baustrohballen nicht den Anforderungen der ÖTZ entsprechen.

6.5.3 Qualitätskontrolle durch den Zertifikataussteller nach der Produktion

Die Herstellung der Baustrohballen erfolgt durch den Landwirten nach bestem Wissen und Gewissen im Hinblick auf die Anforderungen der Österreichischen Technischen Zulassung.
Im Anschluss an die Herstellung erfolgt eine umfangreiche Kontrolle und Dokumentation der Strohballen durch einen Prüfer des Zertifikatausstellers in Hinblick auf die Anforderungen der ÖTZ.
Die Baustrohballen werden bzgl. mechanischer Bindung, Gewicht, Abmessungen, Dichte und Feuchte untersucht. Im Rahmen der Rohstoffkontrolle werden stichprobenartig Ballen ausgewählt und nach Öffnung auf Strohsorte, Restkornanteil und grünes Beilkraut untersucht.

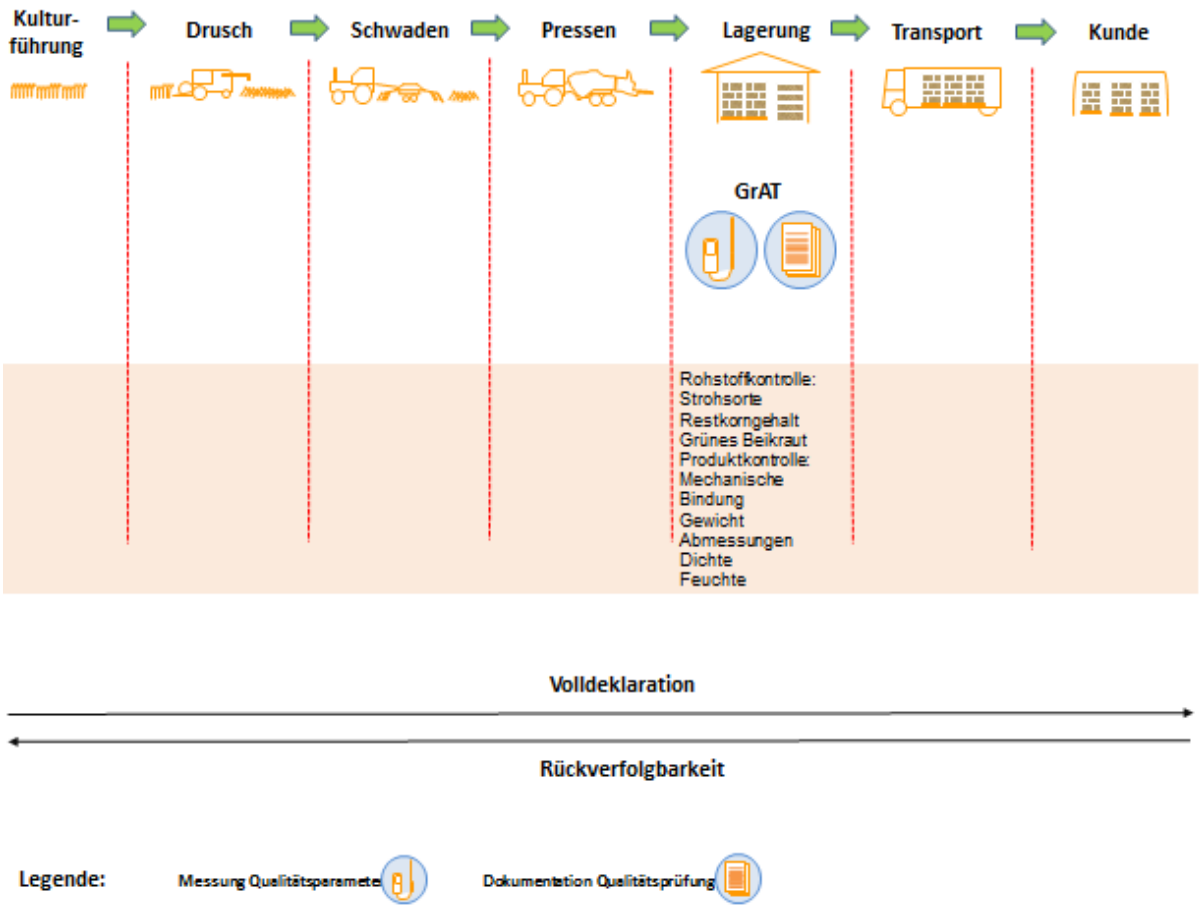


Abbildung 140: Prozesskette – QM durch GrAT nach der Produktion

Vorteile:

- Unabhängigkeit der Landwirte bei der Produktion von Baustrohballen bzgl. Produktionsbeginns, Anzahl der Presstage oder des Ortes.
- Die Qualitätskontrolle kann zu jedem Zeitpunkt nach der Produktion vom externen Prüfer durchgeführt werden.
- Keine Schulung der Landwirte vor dem Beginn der Ernte erforderlich.
- Keine Anschaffung von Prüfgeräten für den Landwirt erforderlich.

- Baustrohballen können regional vom Produzenten vertrieben werden.

Nachteile:

- Eine Qualitätskontrolle der Strohballen während der Produktion ist nicht möglich, Als Folge können die Einstellungen der Presse nicht geändert werden, sollten die Strohballen nicht den Anforderungen der ÖTZ entsprechen.
- Eine umfangreiche Qualitätskontrolle der Baustrohballen nach der Herstellung ist notwendig.
- Eine Anzahl an Ballen muss aufgrund der nachträglichen Rohstoffkontrolle geöffnet werden.
- Keine Zertifikatsvergabe, falls die Baustrohballen nicht den Anforderungen der ÖTZ entsprechen.

6.5.4 Qualitätskontrolle durch den Zertifikataussteller bei stationärer Produktion

In einer stationären Produktion werden die Strohballen von den Landwirten an eine zentrale Stelle geliefert, wo sie gelagert und auf das erforderliche Format umgepresst werden. Die Anlieferung des Strohs von Baustrohballen kann in unterschiedlichen Formaten erfolgen. Diese werden bzgl. Strohsorte und Materialfeuchte kontrolliert und dokumentiert. Die gesamte Qualitätskontrolle erfolgt bei der stationären Produktion durch einen geschulten Mitarbeiter. Sollten die Strohballen zu feucht sein, werden sie nicht angenommen. Die Rohstoffkontrolle in Hinblick auf Restkorngehalt und grünes Beikraut erfolgt nach der Öffnung der angelieferten Strohballen und vor der Herstellung der Baustrohballen. Während der Produktion werden die Ballen entsprechend den Anforderungen der Österreichischen Technischen Zulassung bzgl. mechanischer Bindung, Gewicht, Abmessungen, Dichte und Materialfeuchte untersucht. Sollten die Ballen über einen längeren Zeitraum zwischengelagert werden, ist eine erneute Kontrolle der mechanischen Bindung und der Feuchte erforderlich.

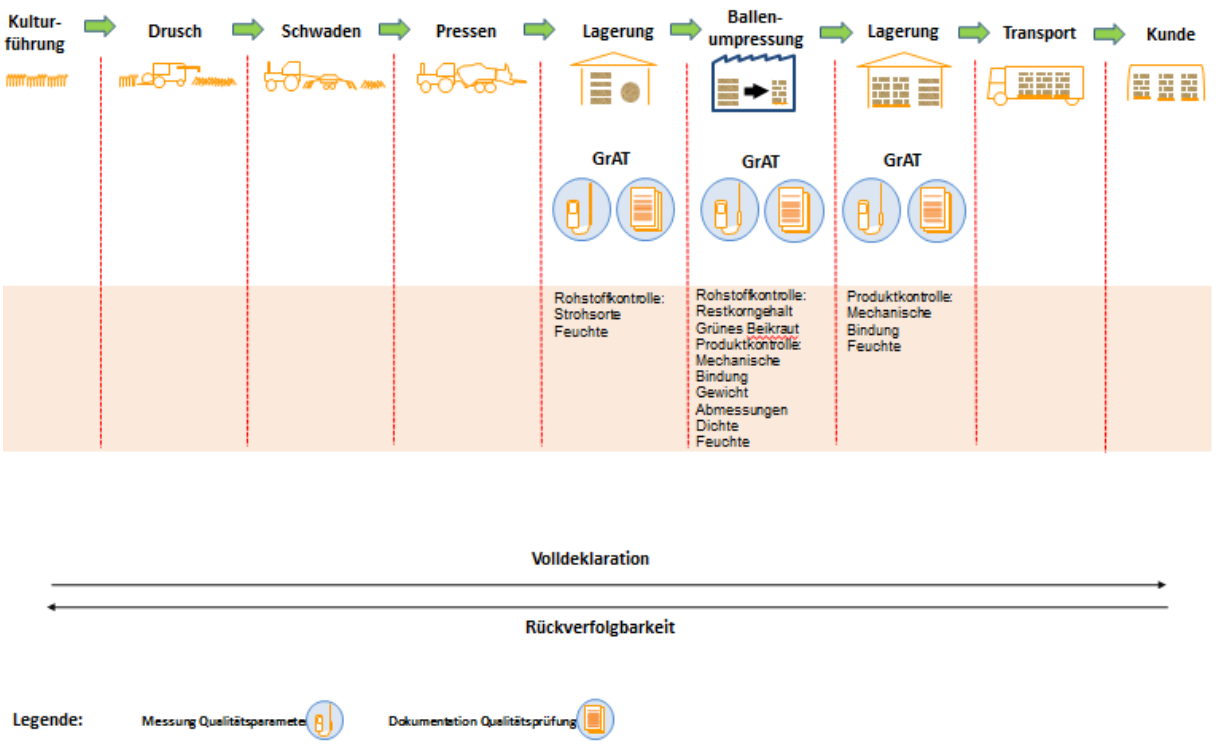


Abbildung 141: Prozesskette – QM bei stationärer Produktion

Vorteile:

- Kontrolle und Dokumentation erfolgt durch einen geschulten Mitarbeiter.
- Keine Qualitätskontrolle während der Ernte notwendig.
- Der Rohstoff kann in allen Formaten angeliefert werden, auch die Anlieferung von Großballen ist möglich.
- Baustrohballen können über das ganze Jahr produziert werden, wodurch eine ganzjährige Verfügbarkeit der Ballen entsprechend den aktuellen Standards der Baubranche gegeben ist.
- Keine Schulung der Landwirte vor dem Beginn der Ernte notwendig.
- Keine Anschaffung von Prüfgeräten für den Landwirt erforderlich.

Nachteile:

- Anschaffung einer zentralen stationären Produktionsstätte inklusive Presse, Lager und Mitarbeiter ist erforderlich.
- Keine garantierte Abnahme der Strohballen vom Landwirten, falls die Ballen nicht den geforderten Kriterien entsprechen.
- Baustrohballen können nur zentral vertrieben werden.
- Erhöhter Transportaufwand.

6.5.5 Vergleich der Prozessketten

Welche Prozesskette für die Qualitätskontrolle gewählt wird, hängt nicht zuletzt von den beteiligten Landwirten ab. Sofern diese zu dem anfallenden Mehraufwand bereit sind und auch über die notwendigen technischen Einrichtungen sowie das entsprechende Know-how verfügen, um Strohballen während der Produktion zu testen, können die Ballen direkt am jeweiligen Produktionsort überprüft werden. Auch die Kontrolle während der Produktion durch ex-

terne PrüferInnen ist möglich und für die Umsetzung des Zero Carbon Village geeignet. Allerdings ist diese Variante organisatorisch schwierig zu lösen und daher für die Produktion von Baustrohballen in größerem Umfang weniger zu empfehlen. Eine Kontrolle nach der Produktion ist zwar organisatorisch einfacher, allerdings haben die Strohballen dann unter Umständen nicht die erforderliche Qualität und können auch nicht nachgebessert werden. Alternativ ist daher auch eine zentrale Qualitätskontrolle bei zentraler stationärer Produktion/Umpressung zu empfehlen, für die zwar zu Beginn Investitionen zu tätigen sind, bei der aber eine zeitlich unabhängige Prüfung möglich ist und eine durchgängige Qualität der Endprodukte zu erwarten ist, auch wenn von den Landwirten unterschiedliche Ballenformate geliefert werden.

6.6 Optimierung des Produktionsverfahrens

Die Herausforderung bei der Verwendung von Strohballen für eine effiziente Fertigteilbauweise liegt darin, standardisierte qualitativ hochwertige Ballen zu produzieren, gerade wenn die Baustoffe bzw. Bauteile zertifiziert werden sollen. Zusätzlich ist auch relevant, welche Formate für die Bauteile gefordert werden, denn je nachdem sind unterschiedliche Pressen und Einstellungen notwendig.

6.6.1 Vorversuche für die Herstellung verschiedener Formate

Die Vorversuche zur Verbesserung der Baustrohballen beziehen sich zum einen auf die Verbesserung der Materialeigenschaften der Ballen und zum anderen auf eine Optimierung der Formate hinsichtlich eines Modulsystems für einen vereinfachten und schnelleren Einbau in Wandkonstruktionen für den Fertigteilhausbereich.

6.6.1.1 Pressen von kurzen Großballen (Strohscheiben)

Aufgrund der guten Dämmeigenschaften von Strohballen in Pressrichtung wurde versucht, Großstrohballen möglichst kurz abzubinden um diese als Stroh-„Dämmscheiben“ in Wandkonstruktionen einbringen zu können.

Die Versuche wurden mit der Hochleistungs-Großballenpresse MF 2190 der Firma Massey Ferguson eines kooperierenden Landwirtes durchgeführt.

Die Großballenpressen der Serie MF 2100 verfügen über einen neuartigen Pick-up mit einer Drehstabfederung anstatt einer Schraubenfeder, welcher den Geländekonturen besser folgen kann. Dieser und der serienmäßige Niederhalter ermöglichen eine bessere Strohaufnahme. Über vier Förderschnecken wird das Stroh gleichmäßig in Richtung der Rafferzinken weitergeleitet. Der schnelllaufende Raffer leitet das Stroh kontinuierlich in die sensorgesteuerte Vorpresskammer weiter, in welcher jede Lage bis zum Erreichen der eingestellten Dichte vorverdichtet wird. In Abstimmung mit dem Kolben werden die einzelnen Lagen mit dem Förderrechen in die Ballenkammer eingebracht. Unabhängig von der Leistung oder der Fahrgeschwindigkeit wird auf diese Weise jeder einzelne Ballen einheitlich verdichtet.

Abbildung 142: Aufbau einer Hochleistungs-Großballenpresse der Serie MF 2100 (http://www.masseyferguson.com/EMEA /GB/products/harvesting/square/271.aspx; 24.09.2010, 15:37)

Mit dieser Presse können Großballen bis zu einer Länge von 270 cm produziert werden. Für die minimale Einstelllänge der Strohballen sind hingegen keine Werte des Herstellers angegeben, da bei Großballenpressen immer große Ballen gewünscht sind, um den logistischen Aufwand möglichst gering zu halten. Üblicherweise besitzen die Ballen des Landwirtes eine Länge von ca. 250 cm. Für die Überwachung der Ballenlänge dient das Sternrad, welches sich bei diesem Pressentype mittig über der Ballenkammer befindet. Die Versuche ergaben, dass die Herstellung von Großballen mit einer Länge zwischen 30 bis 50 cm nicht möglich ist. Bei vollem Anschlag beträgt die Mindestlänge der Ballen ca. 80 cm.
Trotz des kleineren Formates der Großballen verfügen diese weiterhin über eine sehr gute Formstabilität sowie Ecken- und Kantenausbildung ebenso wie Ballen größerer Formate. Es ist anzunehmen, dass die Qualität dieser Kriterien auch bei einer weiteren Reduzierung der Ballenlänge erhalten bleibt. Nach Rücksprache mit einem zuständigen Techniker stellte sich jedoch heraus, dass für Pressen mit dieser Art der Abbindung die Herstellung von kürzeren Ballen nicht vorgesehen ist, da Probleme aufgrund einer unzureichenden Spannung bei der Abbindung auftreten können.

Abbildung 143: Links: Änderung der Maschineneinstellungen; rechts: kurzer Großballen

6.6.1.2 Produktion von Standard-Kleinballen mit einer Dichte von über 100 kg/m3

Üblicherweise werden die Ballen mit einer Dichte von ca. 90 kg/m^3 hergestellt. Entsprechend den Anforderungen für zertifizierte Baustrohballen wird jedoch eine Mindestrohdichte von 100 kg/m^3 gefordert.

Für die Herstellung der Strohballen nach den Anforderungen in der ÖTZ wurde die John-Deere-Hochdruckpresse verwendet. Diese Presse verfügt über einen Pick-up mit einem kleinen Durchmesser, welcher den Vorteil bietet, dass der Weg für das Stroh bei der Aufnahme vom Boden in die Presse relativ kurz ist und es daher zu einem gleichmäßigen Erntestrom mit geringen Verlusten kommt. Über die Förderschnecke wird das Stroh dann in die Presskammer weitergeleitet. Diese weist zum Ende hin eine Verengung auf, die den Effekt einer Vorverdichtung hervorruft. Anschließend wird das Stroh vom Raffer tief in den Presskanal hinein befördert, wo es vom Kolben mit schnellen und relativ langen Hüben verdichtet wird. Aufgrund dieses „TurboSystems“ ist es möglich, kantige Strohballen mit einer relativ hohen Dichte herzustellen.

Eine weitere Erhöhung der Ballendichte konnte durch eine seitliche Verengung des Presskanals erreicht werden. Der Durchschnittswert für die Dichte der überprüften Strohballen mit den Abmessungen von 75 x 46 x 35 cm lag bei ca. 108 kg/m^3 und damit genau im Sollbereich der geforderten Mindestdichte von 100 kg/m^3.

Abbildung 144: Aufbau der John-Deere-Hochdruckkleinballenpresse 459 (http://johndeeredistributor.at/index.php/Landtechnik/Produkte/Ballenpressen/Hochdruckpresse; 23.09.2010, 17:02)

6.6.1.3 Produktion von kurzen Kleinballen für einen Einbau in Pressrichtung

Parallel zur Herstellung der Strohscheiben-Prototypen mit der Großballenpresse erfolgte im Anschluss an die Herstellung der Standard-Kleinballen mit einer Dichte von über 100 kg/m^3 eine Probeproduktion von kurzen Kleinstrohballen, die entsprechend dem optimalen Dämmverhalten in Pressrichtung in ein Wandelement eingebracht werden können.

Abbildung 145: John-Deere-Hochdruck-Kleinballenpresse 459

Durch ein Verstellen des mittig über dem Presskanal sitzenden Messrades kann die Länge der Ballen variiert werden. Die übrigen Presseneinstellungen wurden unverändert von der Probeproduktion der Standard-Kleinballen übernommen. Die Qualitätskontrolle der kurzen Kleinballen wurde nach demselben Ablauf und mit den gleichen Messgeräten wie bei der Produktion der Kleinballen mit der Länge von 75 cm durchgeführt. Die Strohballen wurden direkt nach dem Herstellungsprozess auf einen Transporter der Firma Schachinger Logistik geladen und für die Musterwandversuche zum Projektpartner *Ökohaus Systembau* nach Stall in Kärnten transportiert.
Eine weitere Adaptierung dieser Presse ist für die Herstellung von zertifizierten Kleinballen im handelsüblichen Format mit einer Länge von 75 cm sowie auch für die kürzeren Ballen mit einer Länge von 60 cm nach den Anforderungen der ÖTZ nicht notwendig.

Abbildung 146: Beladung des Transporters der Fa. Schachinger mit kurzen Kleinballen

6.6.1.4 Bearbeiten von Strohballen mit der Bandsäge

Unabhängig vom Erntezeitfenster der Strohballenproduktion wurden in Zusammenarbeit mit zwei Schreinereien Versuche zur Optimierung der Baustrohballen auch in Hinblick auf eine mögliche Produktion von Strohscheiben durchgeführt. Kleinstrohballen wurden sowohl mittig entlang der mechanischen Bindung zersägt als auch an den Seiten besäumt. Die Sägeversuche wurden mit Strohballen von verschiedenen Landwirten sowie mit Bandsägen unterschiedlicher Zahnung durchgeführt. Eine der Bandsägen war mit einem Sägeblatt mit einer Spezialzahnung für einen besonders feinen Holzzuschnitt bestückt, die zweite mit einem herkömmlichen Standardsägeblatt.

Abbildung 147: Zuschnitt eines Strohballens

Bei einer hohen Schubgeschwindigkeit der Ballen konnte ein vereinzeltes Ausreißen der Strohhalme beobachtet werden. Mit einer langsamen Schubgeschwindigkeit hingegen konnte jedoch ein sehr grader und sauberer Schnitt sowohl beim mittigen Teilen entlang der mechanischen Bindung des Ballens als auch beim Begradigen der Ränder gemacht werden.

Abbildung 148: Links: Geteilter Strohballen; rechts: Besäumter Strohballen

Ein weiteres Zerteilen der Strohballen in kleinere Formate wie auch ein Besäumen der Ballen für eine bessere Ecken- und Kantenausbildung zur Minimierung von Abweichungen einzelner Strohballen ist mit einer Bandsäge möglich. Durch eine nachträgliche Bearbeitung der Ballen könnte eine bessere Planung und schnellere Verarbeitung auf der Baustelle erzielt werden.

Abbildung 149: Besäumte Baustrohballen gestapelt

6.6.1.5 Stauchung der Ballen

Im Hinblick auf einen Musterwandaufbau, bei dem Baustrohballen mithilfe einer Vakuumpresse in die Wandkonstruktion eingebracht werden (vgl. Kapitel 6.7.2), wurden die Strohballen zunächst in einem Vorversuch auf ihre generelle Komprimierbarkeit überprüft. Der Versuch wurde im Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der TU Wien mit der Prüfmaschine Z250 der Firma Zwick durchgeführt. Der Strohballen wurde für den Versuch in eine für das Format des Ballens angefertigte Probekörperhalterung eingebracht und mit einer Vorlast von 50 N belastet. Der Strohballen verfügt mit den Abmessungen von 0,78 x 0,48 x 0,35 und einem Gewicht von 13,92 kg zu Beginn des Versuches über eine Dichte von 106,22 kg/m^3.

Die Prüfgeschwindigkeit ist für diesen Versuch mit 100 mm/min definiert worden. Im Kraft-Weg-Diagramm ist deutlich zu sehen, dass der Kraftaufbau bei diesem Versuch exponentiell verlaufen ist. Nach einer Stauchung des Strohballens von 10 cm /3000 N (Dichte von 121,18 kg/m^3) und auch im weiteren Verlauf des Versuches ist keine Ausdehnung in Breiten- oder Dickenrichtung zu vermessen gewesen.

Abbildung 150: Links: Ballen vor Beginn des Versuches; rechts: Stauchung nach 35 cm

Erst bei einer Stauchung von mehr als 40 cm konnte eine Ausdehnung zu einer Seite in Dickerichtung beobachtet werden, die jedoch ausschließlich durch ein seitliches Wegdrücken des Ballens aufgrund des bereits sehr hohen Verdichtungsgrades bei einer Kraft von mehr als 50.000 N entstanden ist. Bei einer Stauchung von 51 cm des ursprünglich 78 cm langen Strohballens ist dieser schließlich aus der Halterung herausgesprungen.

Trotz der hohen Beanspruchung des Strohballens von mehr als 100.000 N ist die Schnürung des Ballens intakt geblieben, und es ist nur zu einer Dimensionsänderung des Strohballens innerhalb der mechanischen Bindung gekommen.

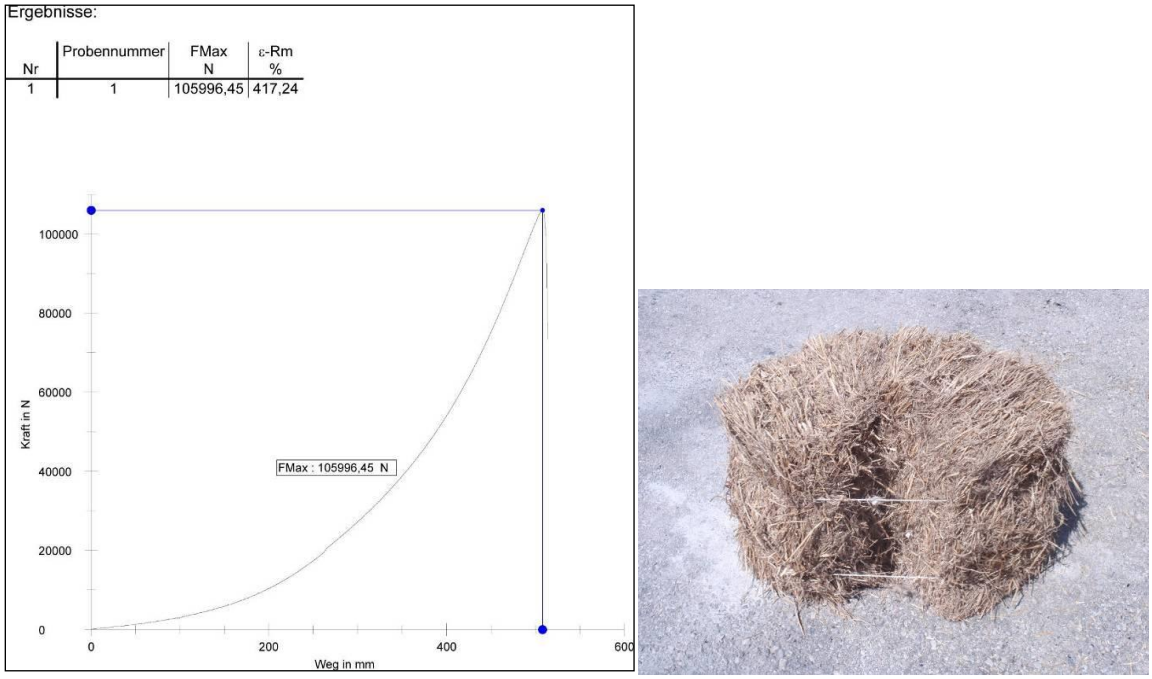


Abbildung 151 links: Prüfprotokoll: Kraft-Weg-Diagramm; rechts: Prüfkörper nach dem Versuch

6.6.1.6 Händisches Ablängen der Großballen

Ausgehend von den sehr guten Vorversuchen für eine Optimierung der Kleinballen wurde auch die nachträgliche Bearbeitung von Großstrohballen untersucht. Die ersten Versuche verdeutlichten jedoch sehr schnell, dass die bekannten Maßnahmen für eine Bearbeitung von Kleinballen nicht für die Anwendung bei Großballen geeignet sind. So ist z.B. ein Durchstechen der Großballen mit einer Strohnadel wegen der deutlich höheren Dichte ohne entsprechende Werkzeuge nicht möglich. Für ein Ablängen ist zunächst mit einer Bohrmaschine ein Loch an der gewünschten Stelle zu bohren, durch welches die neue Bindung hindurchgezogen werden kann. Und auch das Spannen der neuen Bindung, um die Ballendichte beizubehalten, ist ohne Hilfsmittel wie z.B. eine Ratsche nicht möglich.

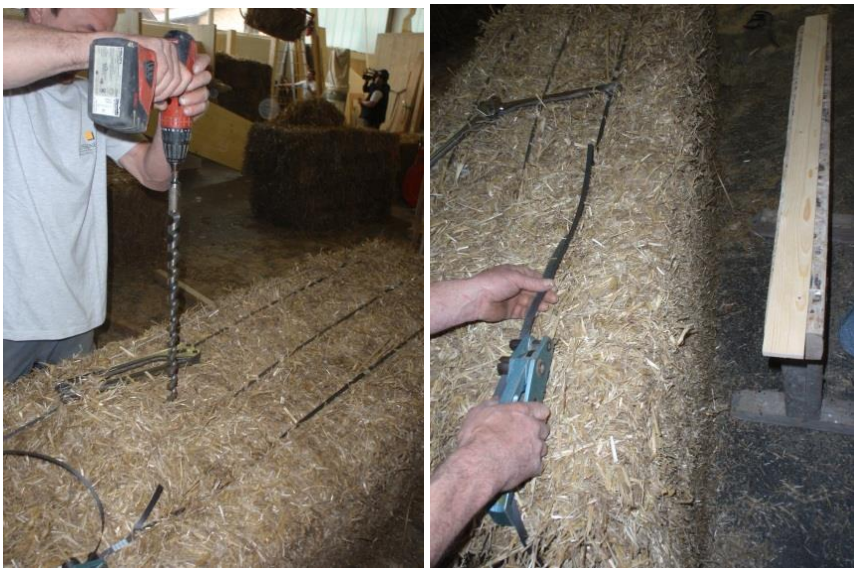


Abbildung 152: Bearbeitung von Großstrohballen

6.6.2 Adaptierungsmöglichkeiten für die Herstellungstechnik

6.6.2.1 Stationäre Herstellung von Strohscheiben

Ausgehend von den Vorversuchen entstand die Idee zur Herstellung von Strohscheiben aus einem Großstrohballen, da diese im Vergleich zu den Kleinballen sowohl über eine höhere Formstabilität und eine gleichmäßiger verteilte Dichte verfügen als auch über deutlich besser ausgeprägte Ecken und Kanten, da bei Großballenpressen der neuen Bauart jede Strohlage in einer sensorgesteuerten Vorpresskammer vorverdichtet werden kann. Die Großballenpresse MF 2190 der Firma Massey Ferguson diente dafür als Basis für die Herstellung der Strohscheiben, welche auf zwei verschiedene Arten erfolgt (siehe nachfolgende Grafik):

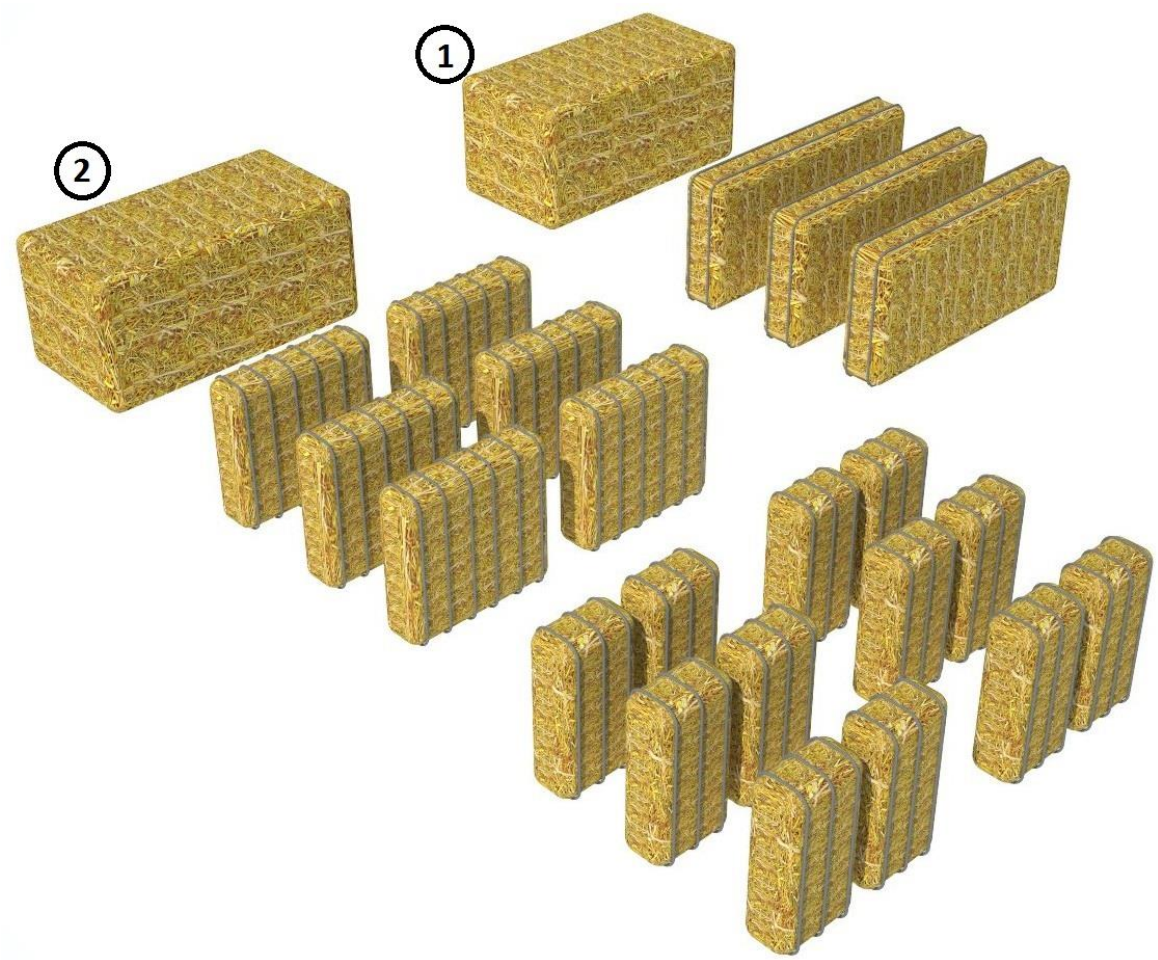


Abbildung 153: Zwei Konzepte für die Produktion von Strohscheiben

Konzept 1: Strohscheiben mit Einbaurichtung „Wärmedurchgang in Halmrichtung“

Die Produktion von Strohscheiben nach Konzept 1 könnte folgendermaßen ablaufen: Die Großstrohballen mit den Abmessungen von 250 x 128 x 120 werden nach dem bisherigen Prinzip des Landwirtes auf dem Feld produziert, aufgesammelt und mit einem Hänger zum Lager transportiert. Anschließend würde der Strohballen mittels einer maschinellen Einrichtung entlang der mechanischen Bindung in drei Strohscheiben zerteilt werden (siehe Abbildung 153, Konzept 1).

Die einzelnen Scheiben würden Formate von ca. 250 x 42,5 x 120 cm aufweisen und ein Gewicht von ca. 150 kg besitzen, wodurch diese sehr unhandlich wären und wahrscheinlich

nur mit maschinellen Hilfsmitteln verbaut werden könnten. Der Einbau der Strohscheiben in eine Wandkonstruktion könnte entweder liegend oder stehend in Breitenrichtung, also der ungünstigsten Einbauweise für Strohballen bzgl. Wärmedämmung, erfolgen. Einzig die schnelle Stroheinbringung mit dem bestehenden Logistikkonzept in der Ernteperiode und der anschließenden Herstellungsmöglichkeit der Strohscheiben während des gesamten Jahres würde für dieses Konzept sprechen.

Tabelle 41: Vor- und Nachteile der Herstellung von Strohscheiben mit Wärmedurchgang in Halmrichtung

Vorteile	Nachteile
+ Bestehendes Logistikkonzept bei der Ernte kann beibehalten werden + Schnellere Stroheinbringung in der Ernteperiode aufgrund der Produktion der großen Strohballen + Herstellung der Strohscheiben aus den Ballen kann das ganze Jahr über erfolgen	- Einbaurichtung erfolgt in Halmrichtung → schlechtester Dämmwert - Schneiden der Großballen entlang der mechanischen Bindung ist in einem zusätzlichen Arbeitsschritt erforderlich - Sehr große Strohscheiben mit einer Länge von 2,5 m und einem Gewicht von ca. 150 kg - Möglicherweise keine ausreichende Stabilität der langen Strohscheiben - Transport und Verarbeitung der großen Strohscheiben bisher nicht geklärt

Konzept 2: Strohscheiben mit Einbaurichtung „Wärmedurchgang in Pressrichtung“

Beim Konzept 2 war angedacht, die Strohscheiben mit der Großballenpresse direkt auf dem Feld durch ein Abbinden nach 35 bis 50 cm herzustellen, also im Zuge der Produktion von Großballen mit einer Länge von 250 cm. Die Breite und die Höhe der Strohscheiben würden jedoch weiterhin die Abmessungen von ca. 128 und 120 cm aufweisen, da diese durch die Abmessungen des Presskanals definiert sind. Die Scheiben würden dadurch ein Gewicht von ca. 70 kg pro Stück besitzen und könnten in Pressrichtung, der optimalen Einbaurichtung bzgl. Wärmedämmung, in eine Wandkonstruktion eingebaut werden. Durch ein Schneiden mittig entlang der mechanischen Bindung besteht außerdem die Möglichkeit einer weiteren Aufteilung in kleinere Formate mit den Abmessungen von 35–50 x 64 x 120 cm und einem Gewicht von ca. 35 kg (siehe Abbildung 153, Konzept 2), wodurch eine Verarbeitung ohne Hilfsmittel möglich wäre.

Tabelle 42: Vor- und Nachteile der Herstellung von Strohscheiben mit Wärmedurchgang in Pressrichtung

Vorteile	Nachteile
+ Einbaurichtung der Strohscheiben in Pressrichtung → bester Dämmwert + Produktion der Scheiben mit der Presse auf dem Feld möglich + Keine nachträgliche Bearbeitung der Strohscheiben notwendig + Können zusätzlich entlang der mechanischen Bindung in kleinere Formate	- Größerer zeitlicher und logistischer Aufwand beim Aufsammeln und Transport der Scheiben während der Ernte - Evtl. Anschaffung neuer landwirtschaftlicher Geräte notwendig z.B. Greifer zum Aufsammeln der Strohscheiben - Transport muss auf Paletten erfolgen

aufgeteilt werden	

Die handlichen Strohscheiben mit der Wärmedämmung in Pressrichtung nach dem Konzept 2 weisen mehr Vorteile auf als die Strohscheiben nach dem Konzept 1 (Wärmedurchgang quer zur Halmrichtung), weshalb eine Produktion der Strohscheiben mit einem Wärmedurchgang in Pressrichtung anzustreben ist.
Die Vorversuche hatten jedoch ergeben, dass Großballenpressen nicht für die Herstellung von Ballen mit einer Länge von weniger als 80 cm konstruiert wurden. Eine Alternative ist die Konstruktion und Verwendung einer nachträglichen Strohballen-Schneide- und -Abbindeeinheit.

6.6.2.2 Konzept der Strohballen-Schneide- und -Abbindeeinheit

Für die Variante eines nachträglichen Schneidens und Abbinden der Ballen soll optimalerweise keine Presse verwendet werden, für welche die auf dem Feld produzierten Strohballen geöffnet werden müssen, um anschließend das lose Stroh erneut zu verpressen.
Die Grundidee bei diesem zusätzlichen Arbeitsschritt ist vielmehr eine Aufteilung der Großstrohballen z.B. mit dem Format von 130 x 120 x 250 cm (B x H x L) in Strohscheiben mit der gewünschten Länge durch Trennen z.B. mit einer Bandsäge und anschließendem Abbinden. Die einzige Schwierigkeit bei diesem Verfahren besteht in der Aufrechterhaltung der Form und der Dichte über den gesamten Herstellungsprozess bei der maschinellen Erzeugung der Strohballen.
In Zusammenarbeit mit dem Institut für Fertigungstechnik der TU Wien wurde ein Grobkonzept für die Konstruktion der Strohballen-Schneide- und -Abbindeeinheit entwickelt, bestehend aus 5 Basiseinheiten:

1. Längsrollen (werden nicht angetrieben, aber evtl. mit einem Hubtisch zur Einstellung der entsprechenden Höhe kombiniert) = INPUT
2. Querrollen (nur der Auswurfteil wird angetrieben) = OUTPUT
3. Hydraulische Spanneinheit mit Vorschubeinheit
4. Stecheinheit (mit Säge oder Bohrer zum Trennen unter Aufrechterhaltung der Vorspannung)
5. Bindeeinheit

Der ungefähre Herstellungsprozess für die Strohscheiben würde wie folgt aussehen. Bei einer feineren Auslegung der Produktionsanlage sind Abweichungen jedoch nicht ausgeschlossen.

1. Der Großstrohballen mit den Abmessungen von 130 x 120 x 250 cm wird auf den Längsrollen platziert.
2. Die Bindeeinheit und die Vorschubeinheit fahren auf und stellen den erforderlichen Haltedruck her.
3. Die Originalbindungen des Strohballens werden entfernt.

4. Die Stecheinheit fährt auf die gewünschte Position und durchsticht/durchschneidet/durchbohrt den Ballen zur Abtrennung der Strohscheibe.
5. Die Bindeeinheit und der vordere Teil der Stecheinheit fahren mit der abgetrennten Strohscheibe vor. Der hintere Teil der Stecheinheit bleibt an der Position, um den Haltedruck für den Restballen aufrechtzuerhalten.
6. Die Strohscheibe wird mechanisch gebunden.
7. Die Strohscheibe wird über den angetriebenen Auswurf abgeführt.
8. Die Bindeeinheit fährt zurück und spannt den Ballen vor.
9. Die Stecheinheit fährt zurück auf die Ausgangsposition.
10. Über die Vorschubeinheit wird der Restballen um die eingestellte Länge der Strohscheiben nachgerückt.
11. Der Ablauf wird ab Position 4 wiederholt.

Infolge einer weiteren Recherche, inwieweit das entwickelte Konzept für die Herstellung der Strohscheiben umsetzbar ist, wird dieses als machbar, aber aus wirtschaftlicher Sicht betrachtet aufgrund des Entwicklungsstandes als zu kostenintensiv angesehen.

6.6.2.3 Stationäre Strohballenpresse

Eine sinnvolle Maßnahme ist daher die Entwicklung einer stationären Umpressanlage mit bestehenden Komponenten wie Ballenaufreißer, Förderschnecke, Waage und Dosierschüttung in Kombination mit einer optimierten Kanalpresse. Diese Variante hat gegenüber der Strohballen-Schneide- und -Abbindeeinheit den Vorteil, dass Strohballen von verschiedenen Landwirten mit unterschiedlichen Formaten und Dichten verwendet werden können.
Aktuell werden in Zusammenarbeit mit einem Pressenhersteller provisorische Adaptierungen an einer solchen Kanalpresse durchgeführt, um deren Auswirkungen auf die Qualität der Strohballen festzustellen. Definierte Parameter, die untersucht werden sollen, sind Pressgeschwindigkeit, Presskraft, Form des Pressstempels, Material und Stärke der mechanischen Abbindungen sowie Abstand zwischen den einzelnen Bindungen, Kraftaufwand für Nachstraffung, Vorpressklappe, seitlicher Ballenauswurf etc. Erste Musterballen wurden bereits produziert und werden von einem akkreditierten Prüflabor entsprechend den Anforderungen der Österreichischen Technischen Zulassung untersucht. Das Ballenformat wurde mit 40 x 60 x 80 cm (L x B x H) im Hinblick auf die Baubranche und deren gängigen Ständerweiten von 60 bzw. 80 cm für einen Einbau in Pressrichtung festgelegt. Abhängig von der Einbauweise ergibt dieses eine optimale (Wand-)Raumhöhe von 240 cm mit drei oder vier Strohballen.
Ausgehend von den Ergebnissen der Adaptierungen soll eine stationäre Kanalpresse konstruiert werden, die speziell für die Produktion von Baustrohballen im Hinblick auf den Einsatz in vorgefertigten Wandmodulen nach den Anforderungen der Österreichischen Technischen Zulassung ausgelegt wurde.

6.7 Fertigteilelemente mit Strohballen

6.7.1 Aktuelle internationale Entwicklungen im Strohbau

Der Einbau von Strohballen in Fertigteilelemente ist eine Entwicklung, die bereits international im Strohbau Beachtung findet. Die Vorteile – Kosten- und Zeiteffizienz, ganzjähriger Bau, Fehlerreduktion in der Herstellung – helfen dabei, Strohballen als Dämmstoff zu verbreiten. Mehrere Firmen produzieren bereits strohballengedämmte Fertigteile in unterschiedlicher Ausführung.

Beim European Straw Bale Gathering (ESBG) 2011 waren beispielsweise die Firmen Belgian Pailletech und Latvian Ecocoon mit strohballengedämmten (und z.T. bereits verputzten) Fertigteilen vertreten, dazu kommen Firmen z. B. aus Großbritannien (Eco Fab, Modcell) und auch Österreich (Kreativer Holzbau GmbH).

Projektpartner *Atelier Werner Schmidt* plant ebenfalls Gebäude mit vorgefertigten Strohballenelementen (vgl. Kapitel 3.2 und 4.1). Aufgrund der Relevanz des Themas wurden und werden auch die Ergebnisse aus dem Projekt Zero Carbon Village auf diversen internationalen Konferenzen und Veranstaltungen präsentiert.

6.7.2 Prototypenherstellung von strohballengedämmten Fertigteilen

In der Prototypenherstellung (vgl. Kapitel 3.1) wurden bereits Fertigteilelemente für Wand, Boden und Decke dargestellt, die an der Baustelle mit Strohballen gedämmt wurden. Zusätzlich wurde aber auch die werkseitige Dämmung von Fertigteilen getestet, wo vor allem die Anforderungen an den Rohstoff Strohballen genauer analysiert wurden. Projektpartner *Ökohaus Systembau* fertigte in der werkseigenen Produktionsstätte Außenwandelemente mit integrierter Strohdämmung an. Aus BSH-Wandplatten (5-lagig, Stärke 10 cm) als statischer Schicht, Strohballen (mit einer Dichte von 110 kg/m^3) als Dämmstoff sowie OSB-Platten (4 cm Stärke) als aussteifenden Stegelementen und einer Holzweichfaserplatte (3 cm Stärke) als abschließender Schicht wurden mehrere Wandelemente produziert und in der werkseigenen Vakuumpresse abgebunden.

Entscheidend für diesen Wandaufbau war das Prinzip der Komprimierung der Strohballen innerhalb des Rahmenaufbaus durch Verwendung der Vakuumpresse (Deckplatte wird auf Stegkonstruktion geklebt). Alternativ hierzu wäre auch ein Verschrauben der Deckplatte auf die Stegkonstruktion denkbar.

Der Vorteil dieser Komprimierung ist einerseits die äußerst homogene Verteilung des Dämmstoffs innerhalb der geschlossenen Kammer (Lücken werden geschlossen), andererseits kann eine möglicherweise zu geringe Dichte der Strohballen durch diese Maßnahme ausgeglichen werden.

Die Herstellung der Prototypen umfasste die folgenden Arbeitsschritte:

1. **Zuschnitt der einzelnen Komponenten**

- Zuschnitt der Trägerplatte aus BSH (10 cm Stärke)
- Zuschnitt der vertikalen, wärmebrückenoptimierten Stegelemente aus OSB (4 cm Stärke)

Abbildung 154: Zuschnitt der einzelnen Komponenten

2. Einfräsen von Nuten und Kantenabschlüssen

- Fräsen der vertikalen Nuten für Stegelemente in die Trägerplatte
- Fräsen der Kantenabschlüsse für Schwalbenschwanzverbindung (Boden- und Deckenplatten) in die Trägerplatte

Abbildung 155: Einfräsen von Nuten und Kantenabschlüssen

3. Zusammensetzen der Komponenten in der Vakuumpresse

- Verwendung einer Rahmenkonstruktion zur Stabilisierung des Pressdrucks
- Genaues Ablängen der einzelnen Elemente

Abbildung 156: Zusammensetzen der Komponenten in der Vakuumpresse

4. Verleimen der Stegelemente

- Händisches Auftragen des PU-Klebers in vorgefräste Nuten der Trägerplatte

Abbildung 157: Verleimen der Stegelemente

5. Einbringen der Strohballen

- Einbau der Strohballen in 2 Reihen zu je 8 Ballen, liegend
- Überstand der Ballen über die Rahmenkonstruktion ca. 1,5 cm
- Ausstopfen der Lücken und Schlitze mit losem Stroh

Abbildung 158: Einbringen der Strohballen

6. Einrichten und Befestigen der Deckplatte (Holzweichfaser)

- Präzises Ablängen der Platten auf die benötigten Abmessungen
- Zusammenstecken der Nut-Feder-Verbindungen zwischen den Einzelplatten
- Kleberauftrag an den Verbindungsstellen zwischen Stegelementen und Deckplatten

Abbildung 159: Einrichten und Befestigen der Deckplatte

7. Verpressen des Wandelements

- Vorbereitung des Wandelements (Kantenverstärkung)
- Anbringen der Kompressionsplane
- Pressvorgang mittels Vakuumpresse (Unterdruck)

Abbildung 160: Verpressen des Wandelements

Die Komprimierung der Strohballen erfordert ein äußerst präzises Verfahren für Einbringen und Verpressen der zu verklebenden Kontaktstellen zwischen Stegelementen und Deckplatten. Lose Strohhalme konnten beim Erstversuch nur bedingt von den Klebestellen ferngehalten werden, sodass eine einwandfreie Klebeverbindung nicht gewährleistet werden konnte (siehe Abbildung 161).

Abbildung 161: Verbindungspunkt von Stegelement und Deckplatte vor dem Verpressen

Abbildung 162: Prototyp-Fertigteilelement mit Strohdämmung nach dem Verpressen

Das Prototyp-Fertigteilelement erfüllte nach der erfolgreichen Pressung die wesentlichen Anforderungen hinsichtlich statischer Belastbarkeit und Formstabilität.

6.7.3 Vorbereitung für Zulassung

Die baubehördliche Zulassung von strohballengedämmten Fertigteilen würde eine Standardisierung mit sich bringen, für die BauherrInnen und PlanerInnen eine definierte Qualität garantieren und in weiterer Folge die Verbreitung von Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen fördern.

Für die Zulassung eines Fertigteilsystems (z. B. eines Wärmedämmverbundsystems) müssen zunächst alle Bestandteile des Systems einzeln geprüft werden und anschließend das System als Ganzes.

Die notwendigen Zulassungen, Berichte und Zertifikate der einzelnen Holzbaustoffe sind in der Regel vorhanden, wie z.B. Überprüfungen der Holzforschung Austria bzgl. der „Woodtec“-Massivholzplatten des Projektpartners Ökohaus Systembau GesmbH.

Auch für den Baustrohballen (S-HOUSE Ballen) besteht bereits die im Rahmen des Projekts „Stroh-Cert: Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau“ (Wimmer et al. 2011) erarbeitete ÖTZ-2010/015/6.

Bei der Verwendung eines Dämmstoffs aus nachwachsenden Rohstoffen, für welchen noch keine technische Zulassung vorhanden ist, müsste zunächst entsprechend der COMMON UNDERSTANDING OF ASSESSMENT PROCEDURE (CUAP) „Factory-made thermal insulation material and/or acoustic insulation material made of vegetable or animal fibres“ eine Zulassung erarbeitet werden. Die Verwendung von nicht zugelassenen Baumaterialien in einem Fertigteilsystem ist nicht erlaubt.

Im Hinblick auf eine Zulassung für ein modulares Fertigteilsystem ist die CUAP „MODULAR PERFORMED BUILDING PANELS“ (ETA request No. 03.03/01 – Version 21/08/2002) mit Prüfungen bzgl. Brandschutz, Schallschutz, Wärmedämmung, Tragkraft etc. ein erster Anhaltspunkt, obwohl sie eigentlich für lasttragende, ausgeschäumte Stahlskelettkonstruktionen mit abschließender Putzschicht (Zement) ausgelegt wurde.

Die Definition der notwendigen durchzuführenden Prüfungen erfolgt nach Absprache mit der verantwortlichen Zulassungsstelle, sobald ein Fertigteilsystem mitsamt seinen Bestandteilen definiert wurde. Denn erst dann ist es möglich, mit dem Zulassungsprozess und den notwendigen Prüfungen zu beginnen.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen für weiterführende Forschung und Entwicklung

Bisher wurde für das Zero Carbon Village die vorbereitende industrielle Forschung in den Entwicklungslinien Modulare Vorfertigung, Energieversorgung und Strohballen durchgeführt, wobei jeweils verschiedene Varianten analysiert, praktisch getestet und verglichen wurden. Diejenigen Varianten, die sich für die konkrete Umsetzung in einem Demonstrationsprojekt am Standort Traismauer/NÖ am besten eignen, werden in Form von Prototypen weiterentwickelt und realisiert.

Die Schlussfolgerungen werden im folgenden Kapitel (7.1) beschrieben. Die notwendigen weiteren Arbeitsschritte im Rahmen der experimentellen Entwicklung folgen in Kapitel 7.2. Die Umsetzung der Demonstrationssiedlung Zero Carbon Village wurde konzipiert und wird in Kapitel 7.3 dargestellt.

7.1 Schlussfolgerungen aus der Entwicklungsphase

7.1.1 Modulare Vorfertigung

Die Gebäude des Zero Carbon Village werden so weit wie möglich vorgefertigt, um die Effizienz dieser Herstellungsweise für ökologische Passivhäuser zu demonstrieren. Das betrifft zunächst vor allem die Herstellung der Gebäudehülle. Prototypen haben gezeigt, dass modulare Fertigteile für Wand, Boden und Dach aus Holz vorgefertigt und mit ökologischen Dämmstoffen (Stroh, Zellulose) gedämmt werden können, und zwar so, dass die Verbindungen und Anschlüsse zwischen einzelnen Bauteilen und Modulen lösbar und zugleich luftdicht ausgeführt werden. Es ist sinnvoll, die Abmessungen der Module so zu wählen, dass eine große Anzahl an Kombinationen möglich ist, sodass unterschiedliche Wohnungsgrößen und Grundrisse realisierbar sind, sowohl bei der Errichtung als auch bei einem späteren Umbau.

Die Lösbarkeit der Module ist ein wesentlicher Aspekt für die Rückbaubarkeit der Gebäude und muss daher nicht nur für die einzelnen Elemente geplant werden, sondern auch während der Montage an der Baustelle erhalten bleiben. Lösungen dafür sind mechanische Verbindungen, die beispielsweise mittels Kompribändern luftdicht gehalten werden. Die Anschlussdetails müssen bereits im Voraus genau geplant sein, sodass an der Baustelle keine Fehlerquellen mehr entstehen, denn eine nachträgliche Adjustierung würde die Effizienz und die Zeitersparnis der Vorfertigung wieder zunichtemachen.

Die architektonische Gestaltung trägt der Flexibilität der Gebäudeformen ebenfalls Rechnung, indem sie modulare Bauformen mit variablen Trennwänden einplant. Die entwickelten Fertigbauteile eignen sich sowohl für Einfamilienhäuser als auch für den im Zero Carbon Village präferierten verdichteten Wohnbau.

Die Haustechnik wird ebenfalls in Form eines Moduls in die Gebäude integriert. In diesem Haustechnik-Modul werden die notwendigen Komponenten und Anschlüsse bereits werkseitig vorinstalliert.

Die modulare Vorfertigung einzelner Gebäudekomponenten und die Zusammenführung an der Baustelle erfordert nicht nur technisch eine sorgfältige Planung, sondern auch auf logistischer Ebene. Die beteiligten Unternehmen werden basierend auf dem Konzept der Virtuellen

Fabrik (vgl. Wimmer 2009) durch ein zentrales Planungsteam miteinander vernetzt. Das betrifft die Zeitplanung für Produktion, Lieferung und Montage an der Baustelle ebenso wie die Abstimmung der technischen Parameter der Einzelkomponenten und die Qualitätssicherung an den Schnittstellen. Im Fall des Zero Carbon Villages sind für die Herstellung der Gebäudehülle ein Hersteller für die Holzfertigteile sowie Strohballenproduzenten und die Arbeiten an der Baustelle aufeinander abzustimmen. Die Strohdämmung kann an der Baustelle erfolgen, aber in weiterer Folge sollen strohballengedämmte Fertigteile hergestellt und auch zertifiziert werden (siehe Kapitel 7.1.3), wofür die Qualitätskontrolle sowie die Lieferung der Ballen zum Produktionsunternehmen zu koordinieren sind.

7.1.2 Energieversorgung

Basierend auf den Ergebnissen der Berechnungen ergeben sich für die Umsetzung am Standort Traismauer (Niederösterreich) folgende Schlussfolgerungen:

Nur durch eine sehr groß dimensionierte Parabolrinnen-Anlage ist es möglich, einen entsprechenden solaren Deckungsanteil auf mittlerem Temperaturniveau zu erreichen, dies ist vor allem auf die relativ niedrigen Direktstrahlungswerte am Standort zurückzuführen. In der Folge sind auch der zu erwartende Landverbrauch und die Kosten (Richtpreis pro Modul beträgt zirka 12.000 Euro zuzüglich der Kosten für Transportleitungen) relativ hoch.

Eine vollständige Realisierung des formulierten Erstkonzepts für ein autonomes Energieversorgungssystem nach dem „Wireless House“-Konzept ist für einen österreichischen Standort nur unter Verbesserung der Systemeffizienz wirtschaftlich machbar. Insbesondere ist die derzeitige Verwendung einer ORC-Anlage, aufgrund des geringen elektrischen Wirkungsgrades, in Zusammenhang mit der geringen Flächeneffizienz der Parabolrinnenkollektoren der Hauptgrund für die erforderliche große Dimensionierung der Mitteltemperaturanlage. Es ist aber von einem höheren solaren Deckungsanteil, bei moderaterem Landverbrauch, in anderen Klimaregionen auszugehen. Am geplanten Standort sollten auch Alternativen für die Bereitstellung von Elektrizität in Betracht gezogen werden. Insbesondere die drastisch gefallenen Photovoltaikpreise ermöglichen eine kostengünstigere Bereitstellung des Reststrombedarfs besonders dann, wenn die thermischen Energiedienstleistungen nicht zum elektrischen Bedarf beitragen.

Die Dimensionen der Energieversorgungskomponenten und der thermischen Energiespeicher sind für die thermischen Energiedienstleistungen (Kochen, Backen, Kühlen, Brauchwasser und Heizung) bei Verzicht auf eine ORC-Anlage um einiges geringer, eine wirtschaftliche Rentabilität daher wesentlich eher gegeben. Daher wird die grundsätzliche Idee der Substitution elektrischer Energieverbraucher durch thermische Energiedienstleistungen zunächst unabhängig von der Bereitstellung von Elektrizität betrachtet werden. Die Umwandlung von Strom aus Wärme mittels ORC- oder Stirling-Anlagen wird für die praktische Umsetzung des Zero Carbon Villages höchstwahrscheinlich durch eine PV-Anlage ersetzt werden. Im Falle von verfügbaren Prozessabwärmen aus Industrie oder Gewerbe könnte das Erstkonzept zwar auch in unseren Breiten erfolgreich anwendbar sein, allerdings müssen hierzu die Voraussetzungen für ein Wohngebiet neben der Energiequelle gegeben sein.

Einige notwendige Schritte für die Siedlungsdetailplanung lassen sich aus der durchgeführten Modellrechnung bereits ableiten, diese sind hier nochmals angeführt:

Schwerpunkt: Regelungstechnik (Auswahl)

- Minimierung der Anfahrhäufigkeit des Biomasse-Backups
- Betriebspunktregelung der ORC-Anlage
- Regelung der Speicherladung

Schwerpunkt: Verminderung der Energieüberschüsse

- Variation des ORC-Betriebspunktes nach Bedarf
- Optimierung der zeitlichen Abfolge der Bedarfswerte
- Substitution weiterer elektrischer Verbraucher durch thermische Energiedienstleistungen
- Weiterentwicklung der ORC-Technologie, eventuell Wahl eines alternativen Herstellers

Zielstellung: Größenminimierung der Energieversorgungskomponenten

Für die Umsetzung sind weitere Simulationen und Berechnungen erforderlich, insbesondere:

- Eine Berechnung der Solarerträge aus nichtkonzentrierender Solarthermie unter Verwendung einer Simulationssoftware. Hierzu ist die externe Nachbildung der gesamten Niedertemperaturanlage, inklusive Verbraucher, notwendig. Damit kann ein Optimum für Modulart, Modulgröße und Neigungswinkel gefunden werden.
- Entwicklung eines funktionstüchtigen Mitteltemperaturspeichers auf Basis der Thermoöl-Stein-Schichtspeichertechnologie
- Errechnung der optimalen Speichergröße und Ladezustände auf Grundlage dynamischer Simulationen
- Exakte Gebäudebedarfswerte (Heizenergie, Kühlenergie)
- Exakte Berechnung der Bereitstellungsverluste im Rahmen der Detailplanung der Siedlung

Weiterentwicklungsbedarf:

Bei realisierten energieautonomen Siedlungen ist zu erwarten, dass sich Energieumwandlungsanlagen und Energiespeicher, zur Verminderung von Energieverlusten, näher an den Wohngebieten befinden. Dabei muss durch gut funktionierende Prototypenanlagen, welche mit ausreichender Systemeffizienz arbeiten, ein „positives Image“ entstehen. Für die erfolgreiche Umsetzung des Energieversorgungskonzeptes „Zero Carbon Village“ am Standort Traismauer sind noch einige Optimierungspotenziale vorhanden, welche in der nächsten Entwicklungsphase ausgeschöpft werden müssen. Es muss beispielsweise an der Weiterentwicklung aller relevanten Schlüsseltechnologien gearbeitet werden. Andererseits ist die Überprüfung und entsprechende Adaption der Systemkomponenten für einen Standort mit besseren klimatischen Voraussetzungen empfehlenswert. Je nach Anwendungsfall können auch Einzelkomponenten in verschiedenster Art erfolgreich eingesetzt werden. Beispielsweise sind die Erfolgsaussichten für eine Demonstrationsanlage für solarthermisch versorgtes Kochen und Backen in Traismauer als hoch einzuschätzen. Im Zuge der technologischen Fortschritte bei der Bereitstellung von elektrischer Energie ist folgender Zusammenhang für die Umsetzung des Energieversorgungskonzeptes zu beachten: Die Photovoltaik-Technologie ist bezüglich Flächeneffizienz der Nutzung von konzentrierender Solarthermie überlegen. Der Hauptvorteil eines solaren Prozesswärmesystems im Rahmen der Bereitstellung von Elektrizität liegt in der Möglichkeit einer kontinuierlichen Stromerzeugung bei Nacht

und bei Schlechtwetterperioden. Einfachere Handhabung der thermischen Energie und einfache Verfügbarkeit der meisten Bauteile sind weitere praktische Vorteile.

7.1.3 Strohballen als Dämmstoff

Strohballen, die als Dämmstoff für vorgefertigte Bauteile verwendet werden, müssen bestimmten Qualitätskriterien entsprechen, das sind vor allem eine geringe Materialfeuchte, hohe Dichte und gleichmäßige Abmessungen. Die Qualität wird beeinflusst durch die Güte des Strohs, durch die Einstellungen der Strohballenpresse und die Methode der Herstellung des gewünschten Formats (Abbinden, Besäumen,…). Praktische Versuche mit verschiedenen Produktionsverfahren haben gezeigt, dass eine stationäre Strohballenpresse sinnvoll wäre, mit der Großballen verschiedener Formate, wie sie von Landwirten geliefert werden, zentral auf das gewünschte Format umgepresst werden könnten.
Auch organisatorisch ist die Variante der stationären Presse für das Zero Carbon Village geeignet, wie die Analyse verschiedener Fertigungsszenarien gezeigt hat. Da alle Strohballen auf ihre Qualität überprüft werden müssen, sind Messungen entweder während der Produktion oder nach der Produktion notwendig. Eine dezentrale Vorgangsweise, bei der die Ballen direkt bei den jeweiligen Landwirten geprüft werden, ist organisatorisch aufwendig und daher nur in kleinem Rahmen sinnvoll. Eine zentrale Kontrolle nach der Produktion könnte mit einer stationären Strohballenpresse kombiniert werden.
Die Strohballenproduktion wurde mit dem Ziel weiterentwickelt, ein strohballengedämmtes Fertigteilsystem herzustellen. Prototypen eines solchen Fertigteils wurden mithilfe einer Vakuumpresse gefertigt und wiesen bereits gute Eigenschaften auf; die Erfahrungen sollen in weiterer Folge mit den entwickelten modularen Bauteilen (siehe oben, Kapitel 7.1.1) kombiniert werden und zu einem zertifizierbaren Strohballen-Fertigteilsystem führen.

7.2 Weiterentwicklungsbedarf

Für die drei Entwicklungslinien Modulare Vorfertigung, Energieversorgung und Strohballen werden im Folgenden die geplanten Weiterentwicklungen beschrieben, die für die Umsetzung in einem Demonstrationsprojekt notwendig sind.

7.2.1 Modulare Vorfertigung

Im bisherigen Projekt wurden einzelne Bauteil-Prototypen entwickelt und realisiert sowie ein Konzept für die Herstellung eines gesamten Gebäudes aus Fertigteilen erstellt. In weiterer Folge sollen die Bauteile unter Einbeziehung der architektonischen Gestaltung zu einem **Gesamtprototyp** zusammengeführt werden. Dabei soll neben einer effizienten Verbindung von Gebäudehülle und Haustechnik auch der gesamte Lebenszyklus der Gebäude beachtet werden – vom Stoffkreislauf der Rohstoffe bis hin zur Wiederverwendung von Bauteilen für andere Bauprojekte (siehe Abbildung 163). Denn modulare Gebäudeelemente haben den Vorteil, dass sie bei geänderten Nutzungsanforderungen oder nach der Nutzungsdauer leicht wieder voneinander getrennt, aufbereitet und einzeln wiederverwendet werden können (Re-Use-System). Aber auch einzelne Baustoffe können in diesem Konzept wieder- bzw. weiterverwendet und nach dem Ende der stofflichen Nutzungsdauer entweder in den Stoffkreislauf zurückgeführt oder energetisch verwertet werden. Eine Deponierung ist dabei nur als letzte Alternative in Betracht zu ziehen (Kaskadenprinzip).

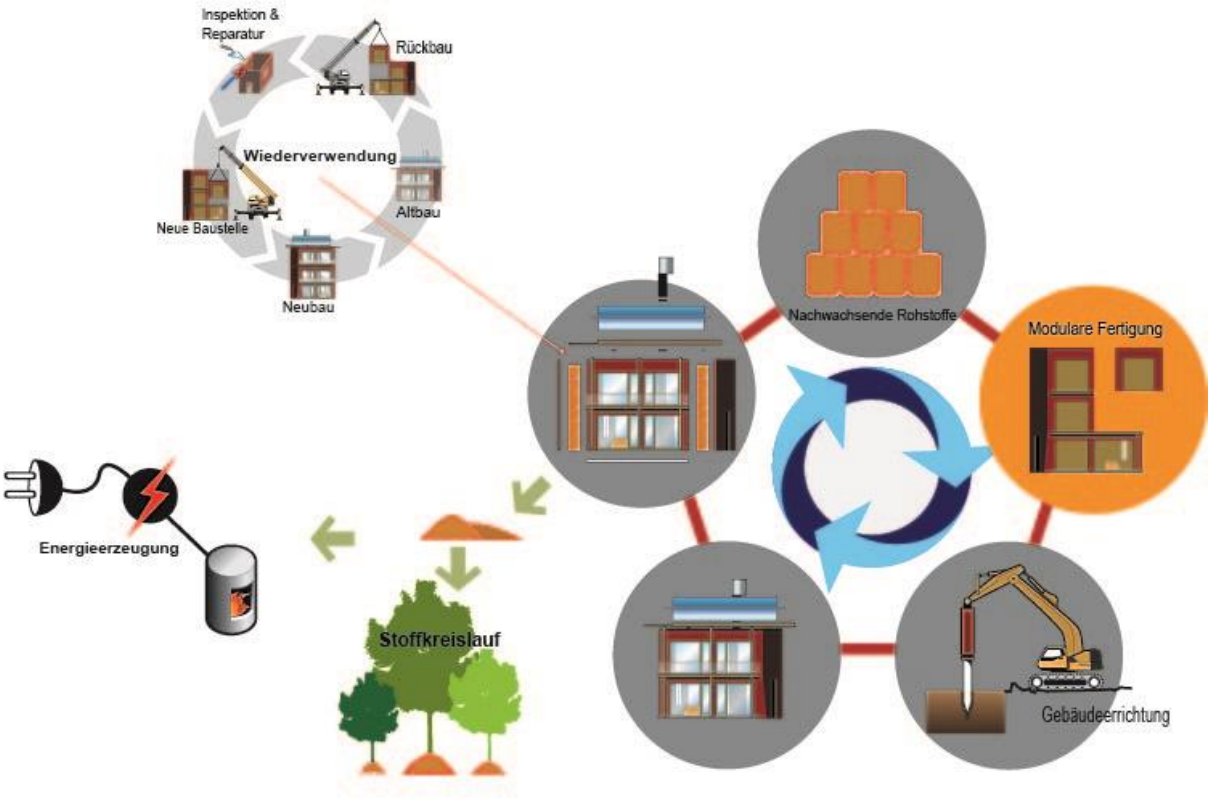


Abbildung 163: Konzept für die Siedlungserrichtung unter Beachtung des gesamten Lebenszyklus

7.2.2 Energieversorgung

Die Komponenten des Energieversorgungssystems werden für die Umsetzung an die Siedlungsgröße in der ersten Errichtungsphase (ca. 29 Wohneinheiten) angepasst.

Netzdesign:

Alternativ zu der simulierten Energieversorgung mit einer zentralen Bereitstellung der Mitteltemperatur für die gesamte Siedlung kann auch eine dezentrale Bereitstellung der Mitteltemperatur für mehrere Wohneinheiten erfolgen. Der Speicher könnte dabei z.B. entweder über Solarkollektoren beladen werden oder mittels Biogasfeuerung.

Alternative Strombereitstellung

Alternativ zu einer zentralen Stromproduktion wie mit einer ORC-Anlage besteht die Möglichkeit einer Kombination der Energieversorgung mit einem Mikro-Blockheizkraftwerk (Mikro-BHKW) bzw. Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (Mikro-KWK). KWK beschreibt einen Verbrennungsprozess, bei dem Strom produziert und die dabei anfallende Abwärme als Heizenergie verwendet werden kann, sodass diese Form der Energieumwandlung einen sehr hohen Gesamtwirkungsgrad hat, weshalb der Entwicklungsaufwand in diesem Bereich in den letzten Jahren deutlich verstärkt wurde. Verschiedene Anbieter bringen neue Geräten auf den Markt, etliche befinden sich derzeit im Feldtest. Ein Großteil dieser Geräte ist für den Betrieb mit Erdgas konzipiert. Diese Technologien sind aber besonders in Kombination mit Biomas-

se als Energieträger von Interesse, da dann während des Betriebs keine zusätzlichen CO_2-Emissionen anfallen würden.
Eines dieser Produkte, welches für eine Verwendung in der Zero Carbon Village infrage kommen könnte, ist z. B. der bison-Powerblock der österreichischen Firma Button Energy.
Dieses Mikro-BHKW ist eine Freikolbendampfmaschine mit integriertem Lineargenerator (oszillierend arbeitende prozessdampfbetriebene 2-Zylinder-2-Takt-Dampfmaschine) und ist mit einer Leistung von 0,3–2,0 kW elektrisch und 3,0–16,0 kW thermisch besonders für die Versorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern, Kleingewerbebetriebe und Backupsysteme geeignet. Sowohl eine Kombination mit einem Pufferspeicher als auch ein bivalenter Betrieb ist möglich. Die Versorgung erfolgt über Biomasse (Pellets bzw. Hackschnitzel) in einem weiterentwickelten Brenner, der direkt in den Dampfkessel integriert ist.
(ButtonEnergy 2011)

Eine weitere mögliche Technologie ist die Brennstoffzelle der Firma Fronius mit einer Leistung von 2 bzw. 4 kW elektrisch. Diese kann in ein Gesamtsystem eingebunden werden, in welchem der erzeugte Strom entweder direkt an den Verbraucher weitergeleitet wird oder dafür genutzt wird, Wasser über die Brennstoffzelle mittels Elektrolyse in Sauer- und Wasserstoff zu zerlegen. Letzterer kann dann in einem Wasserstoff-Gastank gespeichert werden und steht damit das ganze Jahr über als Brennstoff für die Umwandlung mittels Brennstoffzelle in elektrische Energie zur Verfügung.
Die Abwärme der Brennstoffzelle kann dabei zur Deckung des Wärmebedarfs verwendet werden.
(Fronius 2010)

Auch die Verwendung von PV-Modulen ist aufgrund der aktuellen Preisentwicklung für die Abdeckung der elektrischen Restenergie eine relevante Möglichkeit.

Prototyp für thermische Haushaltsanwendungen (Niedertemperaturbereich):
Für die Energieversorgung wurden ein Hydraulikschema sowie ein anpassbares Regelungskonzept entworfen. Für die Umsetzung können, abhängig von der Leistung der Haushaltsgeräte, dem Heizwärmebedarf und der zu versorgenden Personenanzahl, die jeweils passenden Komponenten für Speicher, Pumpen sowie die Rohrdimensionen gewählt werden. Für eine Testanlage ist die Realisierung nach folgendem Schema geplant.

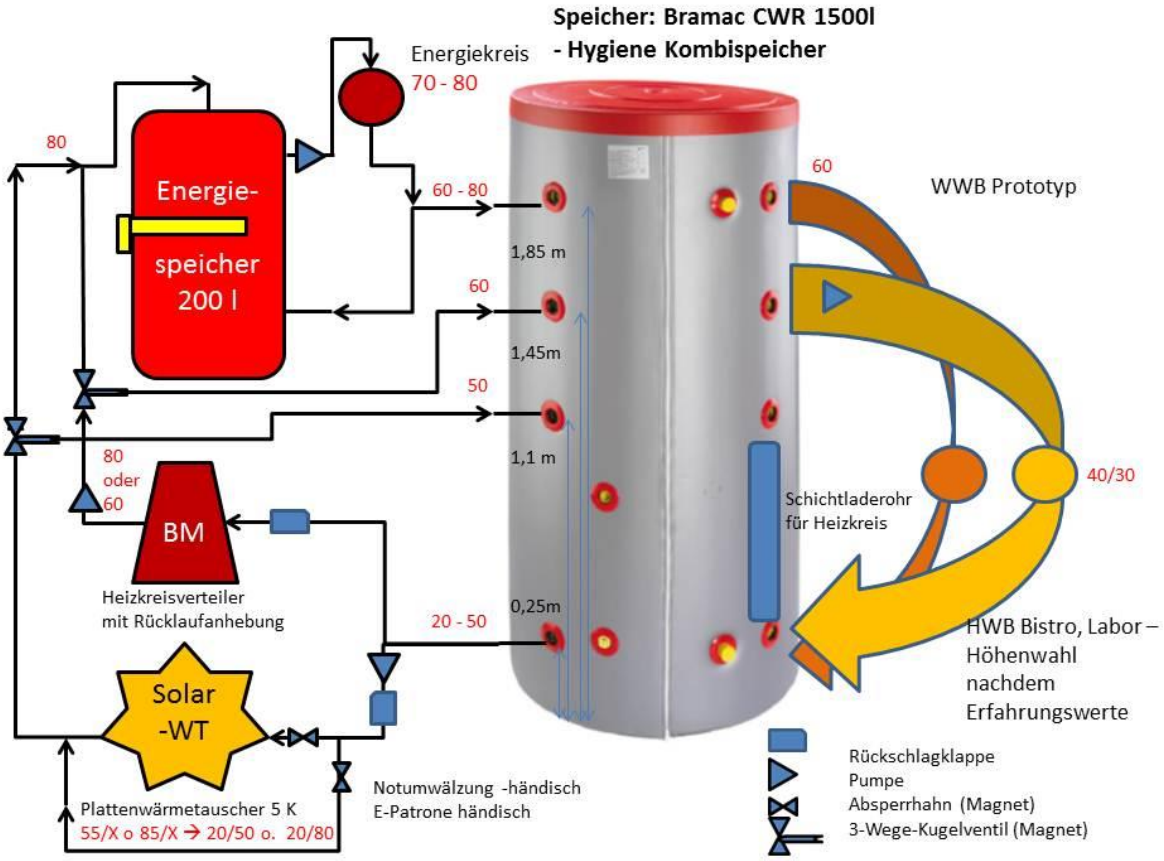


Abbildung 164: „Zero Carbon"-Energieversorgungsschema

Dabei wurde, nach Berücksichtigung der erforderlichen Speicherkapazitäten, ein 1.500 Liter fassender Pufferspeicher gewählt. Um die für den Betrieb der Anlage erforderliche Schüttleistung für den Warmwasserkreis zu erreichen, ist ein interner Wärmetauscher mittels Edelstahlwellrohrs (Wärmetauscherfläche ca. 7 Quadratmeter) auszuführen. Ein solcher „Hygienepufferspeicher" bietet den Vorteil, dass Warmwasser mit minimalem Regelungsbedarf für die Endgeräte bereitgestellt werden kann.

Voraussichtlich auftretende Betriebsarten nach Jahreszeit für den Standort Böheimkirchen:

- Sommer: Solare Bedarfsdeckung mit Biomasse-Backup für Schlechtwetterperioden
  → Vorwiegend solare Beladung des „Energiespeichers" des „Pufferspeichers".
- Übergangszeit: Solare und biogene Bedarfsdeckung je nach Wetterperiode.
- Winter: Grundsätzliche Bedarfsdeckung durch biogene Ressourcen (Biomasseofen läuft regelmäßig hinsichtlich des konstant vorliegenden Heizwärmebedarfs).
  → Vorwiegend biogene Beladung von „Energiespeicher" und „Pufferspeicher". Im Pufferspeicher wird eine Restkapazität (unterer Speicherbereich) nicht beladen, um solaren Energieeintrag zu jedem Zeitpunkt zu ermöglichen.

Als Prototyp soll außerdem ein indirekt betriebenes **solares Kochsystem** entwickelt und realisiert werden. Das zu entwickelnde System muss folgende Komponenten beinhalten (Systemgrenze = thermischer Speicher):

1. Wärmetauscher im Mitteltemperaturspeicher
2. Rohrleitungssystem (inkl. Druckausgleichsbehälter etc.)

3. Pumpe
4. Wärmeübertrager (zweckmäßige Bauformen) an der Kochstelle
5. Regelungs- oder Steuereinheit
6. Rahmenkonstruktion und Arbeitsoberfläche (Angepasstes Design)

Im Rahmen der Errichtung eines Prototyps in kleinem Maßstab sollen Messungen zum Erhalt wissenschaftlich fundierter Werte bzgl. einzelner Komponenten und des Gesamtsystems durchgeführt werden.
Im Nachfolgenden erfolgt eine kurze Auflistung weiterer zu untersuchender Fragestellungen:

- Adaptierungsmöglichkeiten bestehender Konzepte für Solarkocher
- Welche Kochmethoden können mit einem relativ niedrigen Temperaturniveau ermöglicht werden?
- Daraus abgeleitet: Maximale Leistungsaufnahme, Aufheizraten bzw. Dauer des Kochvorganges; Pflanzenöl als Wärmeträger einsetzbar? (experimentelle Analyse in einem Prototypen – Ringraumwärmeüberträger)
- Alternative Wärmeträger: Druckwasser, Wasserdampf, synthetisches Thermoöl

7.2.3 Strohballen als Dämmstoff

Für ein strohballengedämmtes Fertigteilsystem soll eine **Zulassung** erwirkt werden, um die Verbreitung des nachwachsenden Rohstoffs in Bauprojekten national und international zu fördern und auch, um eine exakte und sichere Vorfertigung zu ermöglichen.
Ausgehend von den durchgeführten praktischen Versuchen in Hinblick auf Fertigteilbauweise soll eine **Strohballenpresse** weiterentwickelt und gebaut werden, mit der die geforderten Eigenschaften des Dämmstoffs in Bezug auf das Ballenformat entsprechend der gewünschten Einbaurichtung erzielt werden können.
Parallel zur Weiterentwicklung der nicht lasttragenden Bauweise mit Kleinstrohballen ist aber auch die Erweiterung der ÖTZ für Großstrohballen der lasttragenden Bauweise zu empfehlen, damit auch für diese Variante des Strohballenbaus Baustoffe mit einem entsprechenden Qualitätsmanagement produziert werden können.

7.3 Konzept für die Demonstrationssiedlung

Ziel für die Umsetzung des Zero Carbon Village ist, ein innovatives Baukonzept zu demonstrieren, das CO_2-Emissionen deutlich reduziert und ressourceneffiziente Lösungen im Bausektor demonstriert. Mit diesem Ziel wird eine hoch ressourcen- und energieeffiziente Siedlung geplant und in Traismauer, Niederösterreich, gebaut. Sie besteht aus Wohngebäuden, einem Gemeinschaftszentrum und einem innovativen Energieversorgungssystem, das erstmals im wirtschaftlichen Maßstab demonstriert wird.
„Zero Carbon Village“ ist CO_2-neutral über den gesamten Lebenszyklus und deshalb ein Meilenstein im nachhaltigen Bauen, mit einem immensen Potenzial für Replikation und Upscaling.
Die Einbindung eines Wohnbauträgers garantiert, dass die Ergebnisse dieses innovativen Demonstrationsprojekts für eine Reihe von nachfolgenden Wohnbauprojekten genutzt werden wird, mit dem übergreifenden Ziel, CO_2-neutrale Wohngebäude zum Standard der Zukunft zu machen. In großem Maßstab werden nachhaltige Gebäude präsentiert, die mithel-

fen, dem Klimawandel entgegenzuwirken. Das wird erreicht, indem vor allem Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, sodass ein relevanter Anteil an CO_2 in der Gebäudestruktur gespeichert wird. Ein wichtiger Aspekt des Demonstrationsprojekts ist auch, zu zeigen, dass diese Gebäudekonzepte nicht nur technisch machbar, sondern langfristig auch wirtschaftlich sind.

CO_2-Emissionen und Abfallmengen werden durch äußerst innovative Produktionsprozesse, durch die Nutzung von nachwachsenden, regionalen Rohstoffen und durch ein zu 100% energieautonomes System reduziert. Dieses nutzt thermische (solare) Energie für alle thermischen Anwendungen im Haushalt, wodurch der Bedarf an elektrischer Energie auf ein Minimum reduziert wird. Auf diese Weise wird ein außerordentlich hoher Effizienzgrad mit minimalen Umwandlungsverlusten ermöglicht.

Die benötigte Energie wird in der Siedlung produziert, entstehender Müll und Abwässer werden entsorgt bzw. gereinigt und wiederaufbereitet. Es soll ein geschlossener Kreislauf entstehen, unabhängig von der Umgebung.

7.3.1 Standort

Für die Realisierung des Zero Carbon Village steht im niederösterreichischen Traismauer ein geeigneter Standort zur Verfügung. Das ungefähr 3 Hektar große Areal ist bereits in Bauland umgewidmet worden. Die angrenzenden Grundstücke im Süden, Westen und Norden sind bisher unbebaut.

Abbildung 165: Standort Traismauer

7.3.2 Vorentwurf für die Siedlungsplanung

Für den Vorentwurf der Demonstrationssiedlung Zero Carbon Village wurde eine Bebauungsstudie durchgeführt und folgendes Konzept vorgeschlagen:

Die Siedlung wird aus 29 Wohneinheiten und einem Gemeinschaftszentrum bestehen sowie einen Prototyp für ein Energieversorgungssystem enthalten, das Bedarf und Angebot genau aufeinander abstimmt; der Verbrauch an Elektrizität wird dadurch um 80% reduziert.

Dieses innovative System wird zu Disseminationszwecken genutzt und in Form einer Ausstellung bzw. einer Prototyp-Anlage präsentiert. Das Gemeinschaftszentrum wird der Öffentlichkeit zugänglich sein. Durch die Umsetzung der energieautonomen Siedlung mit 29 Wohneinheiten sowie dem Gemeinschaftszentrum kann ein maximaler Demonstrationseffekt erzielt werden, da die ständige Nutzung unter äußerst realitätsnahen Bedingungen erfolgt und BesucherInnen ein umfassender Einblick gewährt wird.
Neben der vollständigen Dokumentation sämtlicher Projektphasen (Konzeption, Planung, Errichtung, Monitoring), deren Ergebnisse veröffentlicht werden, ist Wissenstransfer für verschiedene Zielgruppen vorgesehen: BauherrInnen, PlanerInnen, Wissenschaftsinstitutionen und ForscherInnen. Die geplante Siedlung ist auf die Demonstration innovativer umwelt- und klimafreundlicher Technologien in Einzelgebäuden wie auch in einer gesamten Siedlung ausgelegt und dient damit als Impulsgeber für ähnliche Projekte weltweit. Insbesondere die Umsetzung in einem städtebaulichen Maßstab gibt Anlass zur Nachahmung in Kleinstädten und Stadterweiterungsgebieten mit prognostizierten Zuzugszahlen in den nächsten Jahrzehnten.
Durch die konkrete Umsetzung in Traismauer wird der Standort aufgewertet, indem hochwertige Wohnungen errichtet werden und die Herstellung und Verarbeitung von Baumaterialien in der Region gefördert wird und somit zu wirtschaftlichem Aufschwung beiträgt.

Abbildung 166: Konzeptentwurf für das Zero Carbon Village am Standort Traismauer (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

7.3.3 Aufbau der Siedlung

Die längliche, nord-südlich ausgerichtete Parzelle wird von Süden her über die Traismaurer Hauptstraße und die Straße an der östlichen Grundstückslinie erschlossen. Hier sind auch mögliche notwendige Parkplatzflächen vorgesehen.

Dahinter, im südlichen Teil der Parzelle, schließt eine große Grünfläche mit zwei Pavillons in Strohballenbauweise an. Diese dienen als Ausstellungsfläche und für einen kleinen Gastronomiebetrieb. Durch ihre Form und ihre markante Höhe sowie die Überspannung mit einer großflächigen Membran wird dieser öffentliche Bereich zum Blickfang und Anziehungspunkt. Hier sollen Außenstehende und BesucherInnen sich zum Thema Energieautonomie und über das Konzept der Wohnsiedlung informieren können. Ein Austausch zwischen BewohnerInnen und BesucherInnen soll dadurch möglich und gefördert werden.

Abbildung 167: Konzeptentwurf für den südlichen Teil des Grundstücks mit dem Gemeinschaftszentrum (Grafik: Atelier Werner Schmidt)

Hinter den Pavillons soll eine dreigeschoßige Häuserzeile mit Strohballen-Musterbauten entstehen, die von West nach Ost quer über das Grundstück reicht. Sie trennt somit den öffentlichen vom privaten Bereich der Parzelle. In diesen Musterbauten werden Wohnräume, Büro- und Geschäftsflächen realisiert. Im Norden sind „Energiecontainer“ angeschlossen. Hier können exemplarisch unterschiedliche Energiegewinnungsanlagen vorgeführt werden.
Hinter der Musterzeile befindet sich der Kern der gesamten Anlage, die Energiezentrale, ein Energiepark mit zusätzlicher Ausstellungsfläche.
An den Energiepark schließt ein ebenfalls mit Strohballen erbauter, privater Wohnkomplex an. Dieser ist so gestaltet, dass zwischen den einzelnen zweigeschoßigen Wohneinheiten natürliche Innenhöfe entstehen.
Der restliche Bereich des Grundstücks, knapp die Hälfte der Gesamtfläche, enthält vier Reihen verschiedener Wohngebäuderiegel. In den vorderen drei Reihen sind je zwei Riegel nebeneinander platziert. Die erste Reihe besteht aus zwei Blöcken mit je zwei Geschoßen, die hinteren drei Reihen erhalten jeweils drei Geschoße. Somit entsteht, von der Energiezentrale

aus betrachtet, eine Staffelung in der Höhe der einzelnen Wohnreihen. Einzelne Einfamilienhäuser können im hinteren Bereich des Grundstücks bei Bedarf ebenso realisiert werden.
Eine zusätzliche Reihe an Parkplätzen könnte die Parzelle im Norden abschließen.

7.3.4 Energie- und Ressourceneffizienz im Verbund

Durch den Bau im Gebäudeverbund ergeben sich Möglichkeiten, Energie und Ressourcen zu schonen, zusätzlich zum innovativen Energieversorgungssystem und der effizienten Bauweise des Zero Carbon Village. Durch sorgfältig geplante Bebauungsdichte, Geschoßanzahl, Ausrichtung und A/V-Verhältnis (Fläche/Volumen) kann der Heizwärmebedarf der Baukörper nochmal reduziert werden.
Siedlungsplanerisch ist es sinnvoll, verschiedene Wohn- und Nutzflächen anzubieten, sodass eine ausgewogene Mischnutzung langfristig gewährleistet ist. In der Siedlung entstehen öffentlich zugängliche Räumlichkeiten, Gemeinschaftsräume sowie Wohnungen für Privatpersonen und bei Bedarf Gebäude für Büronutzung oder Kleingewerke wie Lebensmittelläden.
Zwischen den Gebäuden sorgen Grünflächen und Nutzgärten für eine gute CO_2-Bilanz.
Der Siedlungsverbund ermöglicht nicht nur eine gebäudeübergreifende Energieversorgung und gemeinschaftliche Abfallentsorgung, sondern auch ein Mobilitätskonzept für die gesamte Siedlung. Ein Carsharing-System kann mit separaten Stellflächen eingeplant werden, die Dächer der Carports können auch als Solarkollektorfläche genutzt werden. Auch Ladestellen für E-Autos können integriert werden. Um die Siedlung möglichst straßen- und autofrei zu halten, sollten die Stellflächen eher am Rand vorgesehen werden. Fahrradwege und Abstellplätze sind hingegen innerhalb der Siedlung einzuplanen und stellen im Idealfall eine Verbindung zum öffentlichen Verkehr her.

7.3.5 Umsetzungskonzept in der Modellregion

Für die Errichtung der Demonstrationssiedlung Zero Carbon Village am Standort Traismauer (NÖ) wurde, ausgehend von den erarbeiteten Ergebnissen der einzelnen Arbeitspakete, ein Umsetzungskonzept entwickelt. Nachfolgend sind die einzelnen erforderlichen Arbeitsschritte näher erläutert und für eine bessere Übersicht in einem Zeitplan (siehe Kapitel 7.3.6) dargestellt.

Auswertung und Adaptierung der Vorarbeiten

Die wichtigsten Vorarbeiten der Vorgängerprojekte „Strategieentwicklung für (technische/wirtschaftliche Machbarkeit von) energieautarke Gebäude“ und „Strategieentwicklung für eine industrielle Serienfertigung ökologischer Passivhäuser aus nachwachsenden Rohstoffen“ werden zusammen mit den Ergebnisses dieses Projektes („Zero Carbon Village – Industrielle Forschung“) und mit den Ergebnissen einer aktuellen Bedarfserhebung für den Standort Traismauer evaluiert und zusammengefasst.
Im nächsten Schritt werden die gewonnenen Erkenntnisse auf die örtliche Gegebenheit am Baugrundstück und die geplante Architektur angewendet. Dies setzt eine genaue Analyse des Baugrundstückes, aber auch des Gemeindegebietes Traismauer voraus. Für Ersteres wurden im aktuellen Projekt bereits entsprechende Parameter eruiert, die in der Folge mit denen von Traismauer ergänzt werden. Dazu zählen z.B. die vorhandenen Ressourcen

(Rohstoffe, Know-how und Firmen in der Region) deren Verfügbarkeit und natürlich auch die Bereitschaft der Betriebe zur Mitwirkung an diesem innovativen Projekt. Eine Vorauswahl möglicher KMU wird getroffen. Das von der GrAT weiterentwickelte Konzept der „virtuellen Fabrik“ wird auf seine Anwendbarkeit für das Bauvorhaben in der Region Traismauer untersucht und adaptiert. Weitere Ergebnisse der Untersuchung sind, ob bestimmte Voraussetzungen für die Freiraumplanung, Infrastruktur sowie für die Planung der einzelnen Gebäude bestehen (z.B. spezielle Dachform aufgrund der Sonneneinstrahlung oder der lokalen Architektur). Die Ergebnisse der Analyse verschiedener Vorstudien sowie der erweiterten Standortanalyse werden für den Vorentwurf/für entsprechende Adaptierungen in der Entwurfsphase formuliert.

Konzeption innovativer Konstruktionen und Prototypen

Für die Planung innovativer Konstruktionen und Prototypen werden Berechnungen, Tests und Konzepte auf mehreren Ebenen erstellt:

1) Berechnungen und Tests:

1.a) Energieversorgung:

Zur Energieversorgung werden Simulationsberechnungen an die örtlichen Gegebenheiten sowie an die aktuelle Planung und Architektur angepasst. Dies wird mit Testläufen und Parametrierung der einzelnen Komponenten unter folgenden Gesichtspunkten erreicht: hoher solarer Deckungsgrad, wenig Abwärme, ausreichender, aber nicht zu großer thermischer Speicher, Art der Biomasse.

1.b) Vorgefertigte Bauelemente:

Die Berechnungen und Tests beziehen sich vor allem auf die Wärmedämmwirkung möglicher Aufbauten. Weitere relevante Eigenschaften sind spezifische Wärmespeicherkapazität, Feuchteverhalten und Brandverhalten der einzelnen Materialien und Aufbauten. Diese Berechnungen sowie erforderliche Tests werden sowohl auf Material- als auch auf Bauteilebene durchgeführt.

2) Konzeptionierung:

2.a) Energieversorgung:

Ein Konzept mit Auslegung der wichtigen Systeme und Anlagenteile wird unter Berücksichtigung der Gebäude und wirtschaftlicher Betrachtungen erarbeitet. Alternative Lösungsmöglichkeiten werden einander gegenübergestellt. Ein alternatives Funktionsschema bzw. Steuer- und Regelkreislauf für die verschiedenen Technologien (für einen Systemzustand) wird erstellt, ebenso eine Beschreibung für die TGA entsprechend ÖNORM B 1801. Verhandlungen mit Behörden und anderen an der fachlichen Planung Beteiligten über die Genehmigungsfähigkeit werden geführt.

2.b) Vorgefertigte Bauelemente:

Verschiedene Aufbauten werden konzipiert und Problemstellen evaluiert. Dazu werden die Möglichkeiten, die das Konzept der „Virtuellen Fabrik“ bietet, zusammengeführt.

Architektonisches Entwurfskonzept

Ein Freiraumgestaltungskonzept zur Verbindung der unterschiedlichen baulichen Nutzungsformen (Wohnbau, Gemeinschaftszentrum, Wegeführung, Bepflanzung, halböffentliche/öffentliche Freiflächen) wird erarbeitet, ebenso ein architektonisches städtebauliches Konzept der Siedlung unter Beachtung der innovativen Inhalte im Bereich Gebäudehülle, Haustechnik, Energieversorgung. Dieses berücksichtigt auch weitere Realisierungsphasen, zum Beispiel in Form eines Bauabschnittsplans. Die Vorentwurfsplanung und das Nutzungskonzept des Gemeinschaftszentrums werden fertiggestellt sowie die Vorentwurfsplanung der 29 Wohneinheiten. Ebenfalls berücksichtigt wird in dieser Phase die Einhaltung der Baukosten entsprechend der niederösterreichischen Wohnbauförderung.

Allgemeine Abwicklungs- und Vorbereitungsarbeiten

Planliche und formale Vorlagen für die erforderlichen Genehmigungen oder Zustimmungen nach niederösterreichischem Baurecht werden erarbeitet.

Notwendige Verhandlungen mit Behörden werden durchgeführt. Einreichpläne der Wohnbauten mit gemeinsam genutzten Räumlichkeiten sowie des Gemeinschaftszentrums für öffentliche, nicht kommerzielle Nutzung als Schauraum für innovative Gebäude- und Energieversorgungskomponenten werden erstellt. Alle erforderlichen Unterlagen für die Einreichung (Bauteillisten, Energieausweis etc.) werden vorbereitet und die Planungsunterlagen eingereicht.

Technische Ausführungsplanung

Aufbauend auf dem architektonischen Entwurfskonzept und der Raumaufteilung werden Gebäudebedarfswerte in die weitere Detailplanung zur Energieversorgung mit einbezogen und konkretisiert. Durchzuführende Leistungen werden anhand von Leistungsverzeichnissen nach Leistungsbereichen der einzelnen Gewerke beschrieben. Eingeholte Angebote werden durch Erstellen eines Preisspiegels und Verhandlung mit den Bietern geprüft und bewertet. Anschließend werden Vergabevorschläge ausgearbeitet. Bei diesen Entscheidungen sollen nicht nur wirtschaftliche, sondern auch regionale Kriterien (kurze Transportwege) entscheidend sein. Der genaue Bauzeitplan wird festgelegt.

Grundstück – Vorbereitungsarbeiten

Die auf dem Baugelände notwendigen archäologischen Grabungen sowie die notwendigen Maßnahmen für die Erschließung des Baugrundstückes werden durchgeführt. Im Anschluss erfolgt die Einrichtung der Baustelle unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen der innovativen Bauausführung, insbesondere in Bezug auf die Errichtung der energietechnischen Anlagen).

Wohneinheiten/Gemeinschaftszentrum – Errichtung

1) Durchführung der notwendigen Kanal- und Erdarbeiten für alle zu realisierenden Gebäude. Anschließend erfolgt die Errichtung besonders ressourcenschonender Fundamente. Durch ein innovatives Pfahlrammsystem ist für die Fundamentierung kein Aushub erforderlich.

2) Die Durchführung der Hochbau-Bauphase erfolgt unter Einbindung lokaler AkteurInnen. Basierend auf der fertiggestellten Fundamentierung erfolgt die Errichtung der Gebäude. Dies umfasst die statisch tragenden Gebäudeteile sowie die jeweiligen Überdachungen einschließlich des Witterungsschutzes. Die Errichtung erfolgt in 2 Abschnitten: Herstellung der modular vorgefertigten Elemente und Gebäudeteile (Phase 1). Transport und Aufstellung der vorgefertigten Elemente (Phase 2). Die eigentliche Errichtungszeit vor Ort wird durch diese Bauweise auf ein Minimum reduziert. Neben der Planung und Koordinierung sämtlicher Teilschritte führt ein Zeitplan die Schnittstellen zur Energieversorgung sowie zur weiteren Ausbauphase mit den notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen zusammen. Bereits beim Herstellungsverfahren werden die gewerkübergreifenden Schnittstellen überwacht und koordiniert.

3) Der Innenausbau, wie zum Beispiel Installation mobiler Zwischenwände, wird entsprechend der Vorgabe der Ausführungsplanung fertiggestellt. Besonderes Augenmerk wird auf die Auswahl der Produkte (regionale und wenn möglich nachwachsende Ressourcen) gelegt. Oberflächen innerhalb der Gebäude (z.B. Lehm- und Kalkputze oder Wandfarben, serielle Wandelemente, Oberflächen für Nassräume etc.), der Konstruktionen und je nach Bedarf die Oberflächen der Außenfassade durch z.B. Putzauftrag werden ausgeführt. Abschließende Arbeiten von Kleingewerken wie z.B. Errichtung von Schließanlagen und Briefkästen sowie Installationen von Fußabstreifern und Feuerlöschern werden fertiggestellt. Die behördliche Abnahme wird beantragt und durchgeführt.

Wohneinheiten – Haustechnik

HKLS-Anlagen, innovative Beleuchtungssysteme, elektrische Leitungen und sämtliche zusätzlich benötigte Peripherie wie eine entsprechende Leitungsführung für den Betrieb sämtlicher thermisch betriebener Endgeräte werden entsprechend den Planungsergebnissen in die vorgefertigten Gebäudeteile integriert. Dies umfasst ebenfalls die Herstellung kompletter Nasszellen (Bäder/Sanitär) sowie Elemente mit einer integrierten Küche. Die Energieversorgung der Wohneinheiten wird in einem Technikcontainer zusammengeführt. Hinzu kommen Komponenten der Energieversorgung wie Kollektoren, Blitzschutzanlage, Außenbeleuchtung etc., die nach der Errichtung der Gebäude installiert werden. Die Ausführung der technischen Anlagen auf Übereinstimmung mit den Baugenehmigungen, den Ausführungsplänen, den Leistungsbeschreibungen sowie mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik und den einschlägigen Vorschriften, wird organisiert und überwacht. Überwachte Testläufe werden durchgeführt, um die Bereitstellung der nötigen Energie unter verschiedenen Umständen sicherzustellen. Je nach Erfordernis wird das Biomasse-Backup sowie die Bereitstellung der benötigten elektrischen Restenergie geplant, entwickelt und umgesetzt beziehungsweise ins System eingebunden.

Gemeinschaftszentrum – Haustechnik

In diesem Arbeitspaket werden Elektroinstallationsarbeiten, Heizungs-, Sanitär- und Lüftungsinstallation sowie die Energieversorgung-Prototypenanlage (Bereitstellung und Spei-

cher) mit Anschluss der Kochstelle umgesetzt. Die Ausführung der technischen Anlagen wird auf Übereinstimmung mit den Baugenehmigungen, den Ausführungsplänen, den Leistungsbeschreibungen sowie mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik und den einschlägigen Vorschriften überwacht und entsprechend organisiert.
Energieversorgung: Die Hauptkomponenten für die thermischen Anwendungen (Leitungen, Speicher, Kollektoren etc.) werden installiert. Entsprechend den Planungsergebnissen werden nach Errichtung des die Technik beinhaltenden Gebäudes die Hauptkomponenten installiert und angeschlossen. Überwachte Testläufe werden durchgeführt, um die Bereitstellung der nötigen Energie unter verschiedenen Umständen sicherzustellen. Ein Biomasse-Backup wird je nach Erfordernis geplant und umgesetzt bzw. ins System eingebunden. Innovative haustechnische Anlagen (z.B. thermisch betriebener Herd, Kühlschrank, Geschirrspüler etc.) werden innerhalb des Gemeinschaftszentrums zur Demonstration der klimaneutralen und ressourcenschonenden Gerätetechnik installiert. HKLS-Anlagen, innovative Beleuchtungssysteme, elektrische Leitungen und sämtliche zusätzlich benötigte Peripherie werden implementiert.

Außenanlagen
Erdarbeiten, Einfriedungen, Wege und die Gartengestaltung, Carports inkl. Müllraum werden ausgeführt. Bei den erforderlichen Arbeiten sollen lokale Betriebe bevorzugt werden, auch die Auswahl ökologisch unbedenklicher Ressourcen und Anwendungen ist von hoher Priorität. Die versiegelte Bodenfläche soll auf ein Minimum reduziert werden. Anstelle von Asphalt für Wege und Flächen kann z.B. eine wassergebundene Decke zum Einsatz kommen.

Qualitätssicherungsmaßnahmen
Qualitätssicherungsmaßnahmen werden während der gesamten Bauzeit durchgeführt. Revisionsunterlagen, Bedienungsanleitungen und Prüfprotokolle werden zusammengestellt sowie Gewährleistungsfristen aufgelistet. Bei der Abnahme der einzelnen Leistungen werden standardmäßig Mängel festgestellt, die Beseitigung wird überwacht. Besondere Maßnahme zur Qualitätskontrolle ist beispielsweise der Blower-Door-Test, der in der Passivhausausführung unverzichtbar ist. Durch die Verwendung von Strohballen als Dämmstoff sind schon Qualitätskontrollen wie Überprüfung der Materialfeuchte vor dem eigentlichen Baubeginn entsprechend der ÖTZ-2010/015/6 notwendig. Alle Aktivitäten werden entsprechend dokumentiert.

Monitoring – Technisch
Zu Beginn der Planung wird ein Konzept für die Energiestrom- und Systemmonitoring-Messungen festgelegt. Es beinhaltet Testmethoden und die Auswahl der zu untersuchenden Bauteile. Im Konzept für die Datensammlung sind folgende Parameter vorgesehen:
a) Energieversorgungssystem (Solarsystem, Biomasse- Backupsystem): Systemtemperaturen, Stoff- und Energieflüsse
b) Nutzungseinheiten (Gemeinschaftszentrum und 4 ausgewählte Haushalte): Raumklimaparameter, Energieflüsse, Daten der mechanischen Lüftungsanlagen

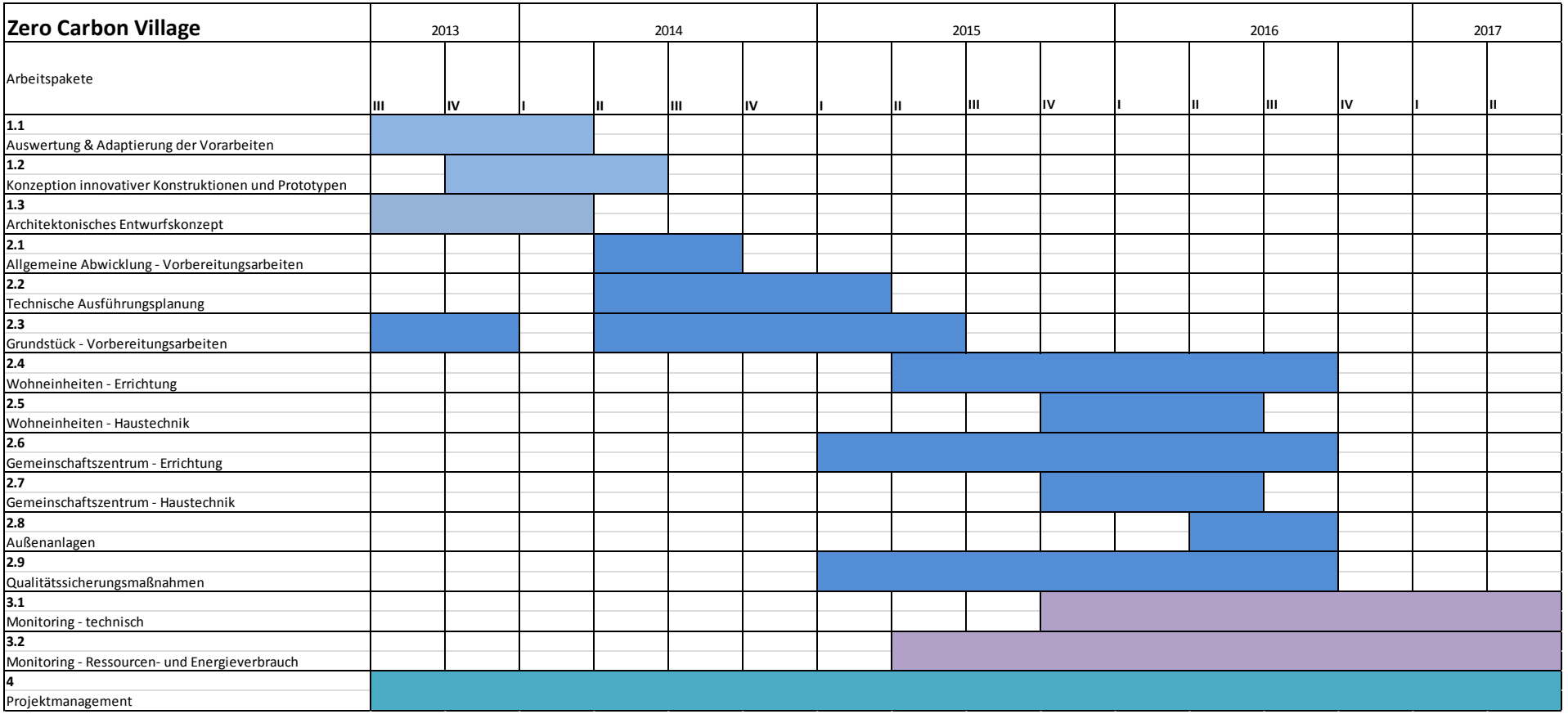
Inbetriebnahme Monitoring und Einregulierung der Anlage:
Überprüfung der fachgerechten Installation aller Messgeräte und -sensoren sowie der Datensammlungs- und Auswertungssoftware. Aufgezeichnete Messdaten (Zeitreihe der wesentlichen Parameter Energie/Komfort in festgelegten Intervallen) werden für jeweils 1 Monat während 3 Jahreszeiten (1 Sommermonat, 1 Monat in der Übergangszeit, 2 Wintermonate) gesammelt. Vorliegende Messdaten werden analysiert und mit Sollwerten aus der Planung verglichen, Auswertungsgrafiken werden im Rahmen von Kurzreports erstellt (4 Auswertungsrunden über jeweils 1 Monat): Zu jeder Auswertungsrunde werden eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse, ggf. Korrekturen von Regelungsparametern und abgeleitete Empfehlungen für die weitere Betriebsführung berichtet.

Langzeitmonitoring:
Das Monitoring wird so eingerichtet, dass die Daten der Energieflüsse während der ersten 4 Betriebsjahre gesammelt werden können. Auswertungen und Analyse der Energieflüsse werden erstellt und diese mit Sollwerten aus der Planung verglichen. Auswertungsgrafiken ergänzen die Langzeit-Evaluierung. Jährliche Kurzberichte mit Zusammenfassung der Energie- und CO_2-Bilanzen sowie Darstellung von Nutzungsgraden der Systemkomponenten werden erstellt.

Monitoring Ressourcen- und Energieverbrauch
Das Monitoring zu Ressourcen- und Energieverbrauch untersucht und dokumentiert baubegleitend den ökologischen Fußabdruck und den Energieverbrauch von:
- Baustoffen, Gebäudeteilen, Firmen, Herstellungs- und Fertigungsweisen, Transporten, etc.
- Ressourcen- und Energieeinsparungen im Vergleich zu herkömmlichen Bauprojekten
- Abfallvermeidung und -management durch die spezifische Bauweise und Materialwahl

In Zusammenarbeit mit den beteiligten KMU erfolgt eine umfassende Sammlung und Auswertung des Datenmaterials. In weiterer Folge erfolgt eine Aufstellung von Prognosen für die Auswirkungen der angewendeten Maßnahmen auch in Bezug auf die zu erreichende CO_2-Einsparung entsprechend den Klimaschutzzielen.

7.3.6 Arbeits-/Zeitplan für das Demonstrationsprojekt



8 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

8.1 Einpassung und Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Das Projekt Zero Carbon Village trägt auf mehreren Ebenen zu den Gesamtzielen des Programms Haus der Zukunft Plus bei:

Nutzung erneuerbarer Energieträger und Energieeffizienz

Die Energieversorgung der Gebäude basiert auf der Nutzung thermischer Energie, die aus erneuerbaren Energieträgern wie Solarenergie und Biomasse gewonnen wird. Mit innovativen Endgeräten, Speicher- und Bereitstellungstechnologien kann das Potenzial dieser Energiequellen umfassend ausgeschöpft werden.

Durch die Ausrichtung auf der Versorgung thermischer Dienstleistungen mit thermischer Energie werden Umwandlungsverluste vermieden. Erst mit der Orientierung am tatsächlichen Bedarf in einem Gebäude werden die Voraussetzungen geschaffen, um in Zukunft auch einen Überschuss an Energie zu produzieren.

Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Sowohl für Baustoffe wie auch für Dämmstoffe werden regionale nachwachsende Rohstoffe (Holz, Stroh) eingesetzt. Auf mineralische und fossile Rohstoffe wird so weit wie möglich verzichtet. Strohballen als Dämmstoff wurden gezielt für den Einsatz in vorgefertigten Elementen weiterentwickelt und in ihrer Qualität verbessert.

Durch die Weiterentwicklung der Fertigungsabläufe (Vorfertigung, Minimierung von Verschnitt) werden Materialien effizient genutzt. Die modularen Bauteile sind nach ihrer Nutzung leicht rückbaubar, die enthaltenen Rohstoffe können in den biologischen Kreislauf zurückgeführt oder thermisch verwertet werden und reduzieren damit Abfallmengen.

Service- und Nutzenorientierung

Die gesamte Konzeption der Energieversorgung basiert darauf, genau die Energieform bereitzustellen, die benötigt wird. Diese Orientierung am Bedarf ist eine wesentliche Voraussetzung für ein energieeffizientes System, das für die NutzerInnen auch hohe Stromkosten vermeidet.

Durch die Vorfertigung der Bauteile können Leitungen und Haustechnik für Reparaturen leicht zugänglich gestaltet werden, darüber hinaus kann der modulare Aufbau an die jeweiligen Ansprüche der BewohnerInnen angepasst werden. Die Raumluftqualität in den Gebäuden wird wegen der natürlichen Baustoffe verbessert.

Kosteneffizienz

Die Planung der Modulbauten kann standardisiert und damit zügiger ablaufen. Durch die Vorfertigung von Komponenten wird die Errichtungszeit an der Baustelle reduziert. Insgesamt können Betriebe durch die standardisierte Vorfertigung wirtschaftlicher produzieren. Die Ausführungs-

qualität steigt, was wiederum teure Nachbesserungen und Reparaturkosten minimiert. Mit der Rückbaubarkeit und der Verwendung natürlicher Rohstoffe werden Entsorgungskosten verringert.
Die Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger wird unabhängig von Kosten und Preissteigerungen für elektrischen Strom auf fossiler Rohstoffbasis.

8.2 Einbeziehung der Zielgruppen

Das Projekt hat ein Gesamtkonzept für energie- und ressourceneffiziente Siedlungen entwickelt. Dieses Konzept ist für *private und öffentliche Bauträger* von hohem Interesse, um innovative Projekte zu planen, die auf die Herausforderungen der Zukunft eingehen – effiziente Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien und ressourcenschonende Passivhausbauweise. Das Gesamtsystem des Zero Carbon Village wurde speziell für den Wohnbau ausgelegt, einzelne Lösungen lassen sich aber ebenso auf andere Bautypologien umlegen.
Die Möglichkeiten, die sich aus der industriellen Vorfertigung von Gebäudeelementen ergeben, sind besonders auch für KMU interessant (z. B. Zimmereien), die damit wirtschaftlich produzieren und sich am Markt der Fertigteilhäuser positionieren können. Auch für Elektro-, Sanitär- und Lüftungsinstallateure bieten sich neue Wege der Produktion bzw. Einbindung in Bauprojekte. Die Nutzung von Stroh als Dämmstoff für hocheffiziente Gebäude ist eine neue Absatzmöglichkeit für Landwirte.
Fertigteilhersteller können mit dem Konzept der ökologischen Bauweise (Passivhausbauweise mit nachwachsenden Rohstoffen) einen wichtigen Markt abdecken. Die modulare Vorfertigung und Standardisierung erhöht die Effizienz und senkt damit Kosten und Arbeitszeit.
Die EndnutzerInnen (BewohnerInnen und EigentümerInnen) profitieren ebenfalls durch die kurze Errichtungszeit, außerdem durch niedrige Heizkosten sowie ein gutes Raumklima aufgrund der natürlichen Rohstoffe. Das System der Energieversorgung und die Auswahl hocheffizienter Geräte senken den Energieverbrauch und machen unabhängig von fossilen Rohstoffen.

8.3 Umsetzungspotenzial

Das vorliegende Projekt ist im Bereich der industriellen Forschung angesiedelt und hat damit die Voraussetzungen geschaffen, um in einem nächsten Schritt ein Demonstrationsprojekt, die Errichtung eines „Zero Carbon Village“, zu ermöglichen. Damit soll die Sichtbarkeit der neu entwickelten Lösungen (z. B. Nutzung von thermischer Energie für den Haushalt) gewährleistet werden.
Die Herstellung von Gebäuden aus Fertigteilelementen ist bereits weit verbreitet und trifft, den Marktdaten zufolge, besonders in Österreich auf breite Akzeptanz. Für die Verwendung von Stroh als Dämmung der Elemente existieren ebenfalls bereits erfolgreiche Beispiele aus der Praxis, auf deren Basis Details (z. B. Anschlüsse, Verbindungen) weiterentwickelt wurden. Die Neuheit bei der praktischen Umsetzung liegt vor allem in der Zusammenführung zu einem Gesamtsystem, das auch die innovative Energieversorgung integriert. Die Berechnungen für die Energieversorgung wurden für einen konkreten Standort ausgelegt, um zu überprüfen, wie und

in welcher Dimensionierung das System realisierbar ist. Die Umsetzung wird daher auf diesen konkreten Berechnungen beruhen.

9 Literaturverzeichnis

AEG-Elektrolux: FM6800TYAN Benutzerinformation Induktions-Teppan-Yaki: URL: http://www.electrolux-ui.com:8080/2007/374/483810DE.pdf.

Bointner, R.; Bednar, T.; Eikemeier, S. et al. (2012): Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

ButtonEnergy Energiesysteme GesmbH (2011): Informationsbroschüre zu „lion/bison Power-block“, Dezember 2011, Raasdorf.

Der Standard (2011): URL: http://derstandard.at/1319182764290/Kochen-waschen--Co-Haushalte-brauchen-immer-mehr-Strom (14.11.2011).

Eneftech Innovation SA (2011): Produktbroschüre zu „ENEFCOGENGreen“, Download am 12.06.2011, Firmenhomepage: www.eneftech.com, Nyon.

Fraunhofer Umsicht (Hrsg.) (o.J.): Leitfaden Nahwärme. URL: http://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/documents/infomaterial/OE800/leitfaden_nahwaerme_komplett.pdf (11.08.2012).

Fronius International GmbH (2010): Datenblatt „Energiezelle, Saubere Energie – jeder Zeit abrufbar“, Januar 2010, Wels.

Füreder, J. (2010): Vorlesungsskriptum Wärme- Kälte- und Gasnetze , Studiengang Öko-Energietechnik, 5. Semester, Fachhochschule Oberösterreich, Campus Wels.

Hafner, B. (1999): Modellierung und Optimierung eines solar betriebenen Prozesswärmesystems, Dissertation RWTH Aachen, Verlag Shaker, Aachen.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2010): Zwischenbericht Projekt: „Stratisorp: neuartiges Schichtspeichersystem zur Effizienzsteigerung von Adsorptionswärmepumpen und -Kältemaschinen“, Karlsruhe.

KE KELIT Kunststoffwerk GmbH (2011): Firmenhomepage, Produktinformation, http://www.kekelit.com/downloads.214.0.html (23.04.2011).

Krick, B. (2008): Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise. Dissertation. Kassel: kassel university press.

Mauch; Gobmaier (2009): Einflüsse der Temperaturspreizung in Nahwärmenetzen; FfE - Forschungsstelle für Energiewirtschaft.

Meteonorm (2009): Klimadatenbank, Abruf der Klimadatensätze für die Standorte Traismauer und Wien, Referenzjahr 2009.

Miele/Solvis (2011); Solartrockner reduziert durch direkte Nutzung der Sonnenenergie Energiekosten und Primärenergieverbrauch; Dr. Stefan Siepmann (Miele), Patrick Schimke (Miele), Helmut Jäger (Solvis), Gabriele Herde (Solvis); Fachartikel, September 2011.

Müller-Steinhagen H., Drück H., Tamme R. (2007): Neue Konzepte für die effiziente Speicherung von Wärme aus erneuerbaren Energieträgern, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart.

NEP Zürich GmbH (2011): http://www.nep-solar.com/flashblocks/data/downloads/nepsolar_polytrough1200_web2010-06.pdf (23.04.2011).

New Holland (o.J.): CropID™. Individual Bale Identification System. URL: http://www.harvesttec.com/pdfs/newholland/NH_tagger_brochure.pdf (18.12.2011).

Quaschning, V. (2009): Regenerative Energiesysteme, 6. Auflage, Hanser Verlag, München.

Recknagel; Sprenger; Schramek (2007): Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 73. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München.

Tamme, R. (2005): Speicherung für Hochtemperaturwärme, Deutsches Institut für Luft und Raumfahrt (DLR).

Wiesner, W. (2010): Vorlesungsskriptum Thermische Speicher, Modul Solarthermie, Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien, Fachhochschule Köln.

Wimmer, R.; Hohensinner, H.; Drack, M.; Kunze C. (2005): S-House. Innovative Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel eines Büro- und Ausstellungsgebäudes. Schriftenreihe Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2/2005. Hrsg. v. BMVIT.

Wimmer, R. (2009): Strategieentwicklung für eine industrielle Serienfertigung ökologischer Passivhäuser aus nachwachsenden Rohstoffen. Schriftenreihe Berichte aus Energie- und Umweltforschung 24/2009. Hrsg. v. BMVIT.

Wimmer, R. et al., 2009: Endbericht „Strategieentwicklung für energieautarke Gebäude“ für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Programmlinie „Haus der Zukunft“, Wien im Mai 2009

Wimmer, R.; Hohensinner, H.; Eikemeier, S. (2011): Stroh-Cert. Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau. Schriftenreihe Berichte aus Energie- und Umweltforschung 36/2011. Hrsg. v. BMVIT.

10 Abbildungsverzeichnis

Urheber der Photos und Grafiken ist, soweit nicht anders angegeben, *GrAT*.

Abbildung 1: Entwurfskonzept zur Kombination mehrerer Funktionsmodule innerhalb eines Gebäudes - nur EG-Ebene (Grafik: Ökohaus Systembau GmbH) 22
Abbildung 2: BSH-Wandelement (Rückwand) mit Einfräsung für Schwalbenschwanz-Holzverbindung 23
Abbildung 3: Strohballen innerhalb der Rahmenkonstruktion auf der Rückwand (Trägerplatte) 23
Abbildung 4: Wandelement 1 – KLH-Plattenelemente mit Strohballendämmung (Grafik: GrAT) 24
Abbildung 5: Entwicklung der Anschlüsse von Außenwand zu Boden (Grafik: GrAT) 24
Abbildung 6: Entwicklung der Ausführung der Gebäudeecke (Grafik: GrAT) 25
Abbildung 7: Wandelement 2 – Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Strohdämmung (Grafik: GrAT) 25
Abbildung 8: Bodenfertigteil mit Zellulosedämmung 26
Abbildung 9: Anlieferung der vorgefertigten Bodenelemente 26
Abbildung 10: Vorbereitung der Zelluloseeinblasung (links); fertig eingeblasene Zellulosedämmung in Bodenelement (rechts) 26
Abbildung 11: Luftdichter Anschluss der Frontabschlussplatte mittels Kompriband (werkseitig) 27
Abbildung 12: Kompribänder im Stoß zwischen zwei Bodenelementen (links); Anbringung der Abdichtungsleisten auf den Stoßfugen an der Unterseite der Bodenelemente (rechts) 27
Abbildung 13: Entwicklung der Anschlüsse von Bodenelement zu Fundament 28
Abbildung 14: Werkseitig vorgefertigte Dachelemente (links); nach der Dämmung an der Testbaustelle (rechts) 28
Abbildung 15: Dachelemente ohne Träger – eingefräste Nut zeigt die spätere Position der Träger (links); werkseitig fertiggestellte Dachelemente (rechts) 29
Abbildung 16: Montage der Dachelemente auf der Testbaustelle 29
Abbildung 17: Die Stoßfuge zwischen zwei Dachelementen (links) wird mit Kompribändern (Mitte) und Abdeckleisten (rechts) luftdicht gemacht 29
Abbildung 18: Strohballen werden an der Testbaustelle in die montierten Dachelemente eingebracht 30
Abbildung 19: Entwicklung des Traufendetails 30
Abbildung 20: Entwicklung des Ortgangdetails – Anschluss Dachelement zu Wandelement 31
Abbildung 21: Innovative „verlorene Schalung“ aus kreuzweise verleimten Holzleisten 31
Abbildung 22: Grundriss mit werkseitig gedämmten Elementen (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 33
Abbildung 23: Schnitt mit werkseitig gedämmten Elementen (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 33
Abbildung 24: links: Herstellung der Holzelemente/-rahmen; rechts: werkseitiger Einbau der Strohballen 34
Abbildung 25: Anlieferung der vorgefertigten Wandelemente an der Baustelle 35
Abbildung 26: Aufstellen der vorgefertigten Wandelemente 35
Abbildung 27: Fertiges Gebäude aus werkseitig gedämmten Elementen (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch) 36
Abbildung 28: Aufbauszenario des Gebäudes mit werkseitig gedämmten Elementen (zugleich, in umgekehrter Reihenfolge, Rückbauszenario) (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 37
Abbildung 29: Grundriss mit Modulcontainern und nachträglicher Strohballendämmung (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 38
Abbildung 30: Längsschnitt mit Modulcontainern und nachträglicher Strohballendämmung (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 38
Abbildung 31: Herstellung der Modulcontainer 39
Abbildung 32: Leitungsführungsplan der Modulcontainer (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 40
Abbildung 33: Links: Versorgungsleitungen der Modulcontainer; rechts: Innenraum 40
Abbildung 34: Aufstellung der Modulcontainer (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch) 41

Abbildung 35: Errichtung der Dämmschicht an der Baustelle (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch) 41
Abbildung 36: Links: Montage der Fassade : rechts: fertiges Gebäude (Quelle: http://www.maya-guesthouse.ch) 42
Abbildung 37: Aufbauszenario für ein Gebäude mit Modulcontainern und nachträglicher Strohummantelung (zugleich, in umgekehrter Reihenfolge, Rückbauszenario) (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 43
Abbildung 38: Entwurf „Haus Chrissy" – Holzcontainerbasierendes Passivhaus 45
Abbildung 39: Schnitt Einfamilienhaus. Der rot schraffierte Bereich zeigt die Position der vorgefertigten Modulcontainer (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 46
Abbildung 40: Grundriss des Containers im Einfamilienhaus (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 46
Abbildung 41: 50er-Planung Grundriss OG. Der rot umrandete Bereich ist der vorgefertigte Container (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 47
Abbildung 42: Links: Längsschnitt Einfamilienhaus; rechts: Details der Anschlüsse von Trennwänden zu Boden/Decke (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 48
Abbildung 43: Schnitt Reihenhaus (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 49
Abbildung 44: Grundriss des Containers im Reihenhaus (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 50
Abbildung 45: Visualisierung Reihenhaus (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 50
Abbildung 46: Visualisierung Reihenhaus – Frontansicht (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 51
Abbildung 47: Grundriss Reihenhaus mit unterschiedlichen Wohngrundrissen (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 51
Abbildung 48: Schnitt Mehrgeschoßwohnbau (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 52
Abbildung 49: Beton-Skelett-Konstruktion (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 52
Abbildung 50: Grundriss Mehrgeschoßwohnbau (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 53
Abbildung 51: Visualisierung Mehrgeschoßwohnbau (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 53
Abbildung 52: Visualisierung Mehrgeschoßwohnbau – Frontansicht (Grafik: Architekten Scheicher ZT GmbH) 53
Abbildung 53: Variante 1 – All in one (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 57
Abbildung 54: Variante 2 – Wohnungsstation – zentrale Wärmerückgewinnung aus Luft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 58
Abbildung 55: Variante 3 – Wohnungsstation – dezentrale Lüftung (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 59
Abbildung 56: Variante 4 – Betonkernaktivierung mittels Luft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 60
Abbildung 57: Variante 5 – Dezentrale Warmwasser Wärmepumpe (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 61
Abbildung 58: Variante 6 – Warmwasser aus Abluft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 62
Abbildung 59: Variante 7 – Zentrale Wärmerückgewinnung aus Abluft (Architekten Scheicher ZT GmbH/teamgmi) 63
Abbildung 60: System einer Virtuellen Fabrik 68
Abbildung 61: Links: Vorfertigung im Werk; rechts: Zusammensetzen der Module 69
Abbildung 62: Werkseitige Vorfertigung inkl. Dämmung und Fenster (links) und Transport der fertigen KLH-Module (rechts) 70
Abbildung 63: Fertigungsvariante 1 „Vorfertigung und werkseitige Strohballendämmung von Außenwandelementen" (Grafik: Atelier Werner Schmidt/GrAT) 72
Abbildung 64: Fertigungsvariante 2 „Vorgefertigte Zimmerelemente / Strohummantelung vor Ort" (Grafik: Atelier Werner Schmidt/GrAT) 73
Abbildung 65: Fertigung der ZCV-Prototypen (Grafik: GrAT) 74
Abbildung 66: Online-Konfigurationstool für die Zusammenstellung von Wandregalen (http://www.ikea.com/ms/de_AT/rooms_ideas/planner_billy/index.html) 77
Abbildung 67: Online-Konfigurationstool für die Bestellung von Fenstern (http://www.fenster-pronto.at/de/pages/fenster-preise-2.aspx?pg=3) 78
Abbildung 68: Workshop im August 2011 mit Stakeholdern aus Baupraxis und Forschung 79
Abbildung 69: Mitgliedsbetriebe des BEUC NÖ, Stand: Ende 2011 82
Abbildung 70: Jahreszeitliche Anteile von Solarenergie und Biomasse, Optimalfall 87

Abbildung 71: Gesamtsystem der Energieversorgung auf Basis von thermischer Energie („Wireless House“) – Überblick über die Zusammenhänge der verschiedenen Komponenten nach Temperaturniveaus und thermischem und elektrischem Betrieb 87
Abbildung 72: Systemflussbild Nutzungspfad-Szenario „Solarwärme/ORC“ (Grafik: teamgmi) 89
Abbildung 73: Systemflussbild Nutzungspfad-Referenzszenario „Solarstrom/PV“ (Grafik: teamgmi) 90
Abbildung 74: Anlagenparameter Variante 1 (Grafik: teamgmi) 92
Abbildung 75: Anlagenparameter Variante 2 92
Abbildung 76: Anlagenparameter Variante 3 (Grafik: teamgmi) 93
Abbildung 77: Anlagenparameter Variante 4 (Grafik: teamgmi) 93
Abbildung 78: Lageplan am Beispiel Zero Carbon Village Traismauer (Grafik: teamgmi) 95
Abbildung 79: Gleichzeitigkeitsfaktoren (Grafik: Recknagel et al. 2007, bearbeitet) 96
Abbildung 80: Wärmeverluste Einzel- und Doppelleitungen (Quelle: Thermaflex-Flexalen Rohr- und Isoliersysteme GmbH, Preisliste 2010, Seite 27, Wärmedämmwerte Flexalen 600 http://www.thermaflex.at/cms/dynimages/mb/files/PL%20oesterreich%20909398-DE_low.pdf, abgerufen am 27.08.2012) 98
Abbildung 81: Schematische Darstellung Wärmenetz Zero Carbon Village Traismauer (Grafik: teamgmi) 99
Abbildung 82: Variante 1: Zentral 101
Abbildung 83: Variante 2: Dezentral – integriert 101
Abbildung 84: Variante 3: Dezentral – angedockt 101
Abbildung 85: Variante 4: Zero Carbon Village 102
Abbildung 86: Schema für die Bilanzierung; „Zero Carbon Village“ – Prototyp. MTS = Mitteltemperaturspeicheranlage, NTS = Niedertemperaturspeicheranlage ORC = Organic-Rankine-Cycle-Anlage 103
Abbildung 87: Durch eine durchgängige Spiegelfläche wird Abschattung vermindert und der Receiverstrang gleichmäßig bestrahlt (NEP Zürich GmbH 2011) 104
Abbildung 88: Wirkungsgradkennlinien bei verschiedener Strahlungsintensität, inklusive mathematischer Beschreibung (Verlustkoeffizienten) (Grafik: team GMI, Vogel) 105
Abbildung 89: Vergleich Dampfdruck Wasser – Öl (HTT, 2011) 106
Abbildung 90: Entwicklungsbedarf zum Erreichen höherer Energiedichten (Müller-Steinhagen et al. 2007) 108
Abbildung 91: Links: Modell Schichtladung mit konstanter Temperaturdifferenz; Rechts: Instabile Schichtung bei thermischer Inversion (Hafner, 1999) 109
Abbildung 92: Beispiel Schichtspeicher mit zentralem Beladerohr und Entladungsrohren in 10 Höhen (Karlsruher Institut für Technologie, 2010) 110
Abbildung 93: Integrationsmöglichkeiten eines Ausdehnungsgefäßes (Hafner, 1999) 110
Abbildung 94: Anwendungsbeispiel ENEFCOGEN-Green für Gewerbe und Industrie (Eneftech Innovation SA) 111
Abbildung 95: Sonnenstandsdiagramm als Grundlage für Beleuchtungsstunden (Grafik: teamgmi) 117
Abbildung 96: Verteilung der Energieerträge 126
Abbildung 97: Verteilung der solaren, stündlichen Ertragswerte vom Kollektorfeld 127
Abbildung 98: Fehlende Deckung im Mitteltemperaturspeicher bei ausschließlicher Nutzung von Solarerträgen 128
Abbildung 99: Deckung des Thermoöl-Steinspeichers im Jahresverlauf 130
Abbildung 100: Verteilung der „Energieströme ORC“ nach Verwertungskategorien 131
Abbildung 101: Verteilung Energiebedarf Mitteltemperatur 131
Abbildung 102: Vergleich thermische Energieerträge Mitteltemperatur 132
Abbildung 103: Verteilung der solaren, stündlichen Ertragswerte der Vakuumröhrenkollektoren 133
Abbildung 104: Deckung des Niedertemperaturspeichers im Jahresverlauf 134
Abbildung 105: Jahresverlauf der stündlichen Energietransferwerte 135
Abbildung 106: Schema Kollektorkreis (Grafik: teamgmi) 137

Abbildung 107: Schema Kollektor- und Backup-Kreis (Grafik: teamgmi) 138
Abbildung 108: Schema Verbraucherkreise Kochen und ORC-Generator (Grafik: teamgmi) 139
Abbildung 109: Schema Wärmenetz Versorgung der Wohneinheiten (Grafik: teamgmi) 140
Abbildung 110: Funktionsweise des Solartrockners (Miele/Solvis) 146
Abbildung 111: Temperaturverteilung einer Gusskochplatte bei voller Leistung 148
Abbildung 112: Kochen mit Niedertemperatur (Grafik: GrAT, Pokpong) 149
Abbildung 113: Durchmesser und Leistung von Induktionskochplatten (Referenzwerte) (HEA, 2012) 150
Abbildung 114: Solares Kochen im Thermoölzyklus (Grafik: GrAT, Pokpong) 151
Abbildung 115: Erhöhung der Wärmetauschfläche (Grafik: GrAT, Pokpong) 152
Abbildung 116: Mögliches Design einer mit Thermoöl versorgten Kochstelle (Grafik: GrAT, Pokpong) 152
Abbildung 117: Demonstration der Leuchtmittel, Steuerungssysteme 154
Abbildung 118: Energieeffiziente Leuchtmittel 154
Abbildung 119: Architektonische Planungsvorschläge für die Demonstrationsanlage (Architekten Scheicher ZT GmbH) 157
Abbildung 120: Monitoringkreis 158
Abbildung 121: CAD-Gebäudeprofil, Südansicht, Grundriss 158
Abbildung 122: Montage der Kollektorrahmen 159
Abbildung 123: Beispielhaftes Schema für eine modulare Haustechnik-Installation 161
Abbildung 124: Lage der Energiedienstleitungen und Leitungsführung 163
Abbildung 125: Rohrführung im Waschraum 164
Abbildung 126: Rohrführung in der Küche 164
Abbildung 127: Holzkonstruktion für Wandtrockenbau 165
Abbildung 128: Oberflächengestaltung im Waschraum 165
Abbildung 129: Qualitätsfaktoren für den Rohstoff Stroh (Wimmer et al. 2011) 168
Abbildung 130: Qualitätsfaktoren für das Produkt Dämmstrohballen (Wimmer et al. 2011) 169
Abbildung 131: Links: Humimeter FLW im Messkoffer; Rechts: Humimeter FLW bei der Messung 170
Abbildung 132: Links: Eingebauter Sensor außen; Rechts: Sensorkopf innen 171
Abbildung 133: Auszug aus dem Messprotokoll des Feuchtesensors 172
Abbildung 134: Kranwaage 173
Abbildung 135: Stationäre Bodenwaage zur Massebestimmung im Lager 173
Abbildung 136: LaserRangeMaster LRM 60 174
Abbildung 137: Links: Etikettiermaschine „Crop ID“; rechts: Lesegerät (Quelle: New Holland o.J.) 176
Abbildung 138: Prozesskette – QM durch GrAT während der Produktion 177
Abbildung 139: Prozesskette – QM durch Landwirte während der Produktion 178
Abbildung 140: Prozesskette – QM durch GrAT nach der Produktion 179
Abbildung 141: Prozesskette – QM bei stationärer Produktion 181
Abbildung 142: Aufbau einer Hochleistungs-Großballenpresse der Serie MF 2100 (http://www.masseyferguson.com/EMEA /GB/products/harvesting/square/271.aspx; 24.09.2010, 15:37) . 183
Abbildung 143: Links: Änderung der Maschineneinstellungen; rechts: kurzer Großballen 183
Abbildung 144: Aufbau der John-Deere-Hochdruckkleinballenpresse 459 (http://johndeeredistributor.at/index.php/Landtechnik/Produkte/Ballenpressen/Hochdruckpresse; 23.09.2010, 17:02) 184
Abbildung 145: John-Deere-Hochdruck-Kleinballenpresse 459 185
Abbildung 146: Beladung des Transporters der Fa. Schachinger mit kurzen Kleinballen 185
Abbildung 147: Zuschnitt eines Strohballens 186
Abbildung 148: Links: Geteilter Strohballen; rechts: Besäumter Strohballen 186
Abbildung 149: Besäumte Baustrohballen gestapelt 186

Abbildung 150: Links: Ballen vor Beginn des Versuches; rechts: Stauchung nach 35 cm 187
Abbildung 151 links: Prüfprotokoll: Kraft-Weg-Diagramm; rechts: Prüfkörper nach dem Versuch 188
Abbildung 152: Bearbeitung von Großstrohballen 188
Abbildung 153: Zwei Konzepte für die Produktion von Strohscheiben 189
Abbildung 154: Zuschnitt der einzelnen Komponenten 194
Abbildung 155: Einfräsen von Nuten und Kantenabschlüssen 194
Abbildung 156: Zusammensetzen der Komponenten in der Vakuumpresse 194
Abbildung 157: Verleimen der Stegelemente 195
Abbildung 158: Einbringen der Strohballen 195
Abbildung 159: Einrichten und Befestigen der Deckplatte 195
Abbildung 160: Verpressen des Wandelements 196
Abbildung 161: Verbindungspunkt von Stegelement und Deckplatte vor dem Verpressen 196
Abbildung 162: Prototyp-Fertigteilelement mit Strohdämmung nach dem Verpressen 196
Abbildung 163: Konzept für die Siedlungserrichtung unter Beachtung des gesamten Lebenszyklus 202
Abbildung 164: „Zero Carbon"-Energieversorgungsschema 204
Abbildung 165: Standort Traismauer 206
Abbildung 166: Konzeptentwurf für das Zero Carbon Village am Standort Traismauer (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 208
Abbildung 167: Konzeptentwurf für den südlichen Teil des Grundstücks mit dem Gemeinschaftszentrum (Grafik: Atelier Werner Schmidt) 209

11 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: HEIZUNGSSYSTEMVARIANTEN 55
TABELLE 2: ÜBERSICHT HAUSTECHNIKVARIANTEN ZERO CARBON VILLAGE PROTOTYP SALZBURG 64
TABELLE 3: VERGLEICH UND BEWERTUNG VERSCHIEDENER FERTIGUNGSSZENARIEN IN HINBLICK AUF ÖKOLOGISCHE, ÖKONOMISCHE UND SOZIALE NACHHALTIGKEIT 75
TABELLE 4: STROMVERBRAUCH UND REDUKTIONSMÖGLICHKEITEN IM HAUSHALT (GRAT, 2012) 86
TABELLE 5: ÜBERSICHT DER SIMULATIONSVARIANTEN UND DER DAZUGEHÖRIGEN DECKUNGSGRADE 91
TABELLE 6: ZUSAMMENSTELLUNG BEDARFSZAHLEN JE HAUS – STRUKTUR (GRAFIK: TEAMGMI) 95
TABELLE 7: EMPFOHLENE BETRIEBSPUNKTE FÜR ENEFCOGEN-GREEN (ENEFTECH, 2010) 111
TABELLE 8: AUSZUG KLIMADATEN TRAISMAUER, NIEDERÖSTERREICH (METEONORM 2009) 115
TABELLE 9: ÜBERSICHT ÜBER ELEKTRISCHE ENERGIEDIENSTLEISTUNGEN EINER WOHNEINHEIT 115
TABELLE 10: LEISTUNGSWERTE FÜR DIE ELEKTRISCHEN ENERGIEDIENSTLEISTUNGEN EINER WOHNEINHEIT 116
TABELLE 11: WOCHENGANG DER ELEKTRISCHEN LEISTUNGSWERTE DER SIEDLUNG 116
TABELLE 12: FESTGELEGTE WERTE PARABOLRINNENKOLLEKTOR 117
TABELLE 13: EINGABEWERTE VAKUUMRÖHRENKOLLEKTOR 118
TABELLE 14: EINGABEWERTE ORC-ANLAGE 119
TABELLE 15: AUSZUG BERECHNUNGSBLATT "SPEICHER" – TEMPERATURNIVEAU 119
TABELLE 16: AUSZUG BERECHNUNGSBLATT „SPEICHER" – STOFFWERTE 119
TABELLE 17: AUSZUG BERECHNUNGSBLATT „SPEICHER" – WÄRMEKAPAZITÄT 119
TABELLE 18: AUSZUG BERECHNUNGSBLATT „SPEICHER" – DIMENSIONIERUNG 120
TABELLE 19: THERMISCH BETRIEBENE GERÄTE IN DER GROßKÜCHE 120
TABELLE 20: WOCHENGANG DER THERMISCHEN LEISTUNGSWERTE 120
TABELLE 21: NUTZUNGSPERIODEN BESUCHERZENTRUM 121
TABELLE 22: FESTGELEGTE PARAMETER FÜR LEITUNGSWÄRMEVERLUSTE 123
TABELLE 23: EXEMPLARISCHE BERECHNUNGSERGEBNISSE DER SPEICHERVERLUSTE 125
TABELLE 24: RECHNERISCHE AUSWERTUNG DER ENERGIEVERSORGUNG 126
TABELLE 25: RECHNERISCHE ANALYSE ZU DEN PARABOLRINNEN-ERTRÄGEN 127
TABELLE 26: ÜBERSICHT ENERGIEFLUSS DER EINGETRAGENEN THERMISCHEN ENERGIE AUF MITTELTEMPERATURNIVEAU 129
TABELLE 27: ENERGIEBILANZ DER ORC-ANLAGE 130
TABELLE 28: RECHNERISCHE ANALYSE ZU DEN SOLAREN EINTRÄGEN IN DER NIEDERTEMPERATURANLAGE 133
TABELLE 29: WASCHMASCHINEN IN HAUSHALTEN 143
TABELLE 30: ABLUFTTROCKNER, KONDENSATIONSTROCKNER 145
TABELLE 31: GASTROCKNER; QUELLDATEN: PUBLIKATION VON MIELE & CIE. KG, GÜTERSLOH, 02/04 145
TABELLE 32: VOR- UND NACHTEILE VERSCHIEDENER KOCHFELDER 147
TABELLE 33: KOCHPLATTEN, ENERGIEVERBRAUCH 148
TABELLE 34: ENERGIEVERBRAUCH VON AUSGEWÄHLTEN WASSERKOCHERN (1L WASSER, GEMESSEN, BIS AUTOMATISCHE AUSSCHALTUNG ERFOLGT). QUELLE: STIFTUNG WARENTEST 8/2006 149
TABELLE 35: GARGUT, EMPFOHLENE TEMPERATUREN (AEG-ELEKTROLUX) 150
TABELLE 36: LEUCHTMITTEL IM VERGLEICH 153
TABELLE 37: VERGLEICH DER BELEUCHTUNGSVARIANTEN 155
TABELLE 38: DEFINITION DES S-HOUSE BALLENS FÜR DIE ZERTIFIZIERUNG 167
TABELLE 39: RELEVANTE MESSGERÄTE ZUR ÜBERPRÜFUNG DER QUALITÄTSKRITERIEN VON BAUSTROHBALLEN 169
TABELLE 40: KENNDATEN VON HD-KLEINBALLENPRESSEN (KRICK 2008) 174
TABELLE 41: VOR- UND NACHTEILE DER HERSTELLUNG VON STROHSCHEIBEN MIT WÄRMEDURCHGANG IN HALMRICHTUNG 190
TABELLE 42: VOR- UND NACHTEILE DER HERSTELLUNG VON STROHSCHEIBEN MIT WÄRMEDURCHGANG IN PRESSRICHTUNG 190

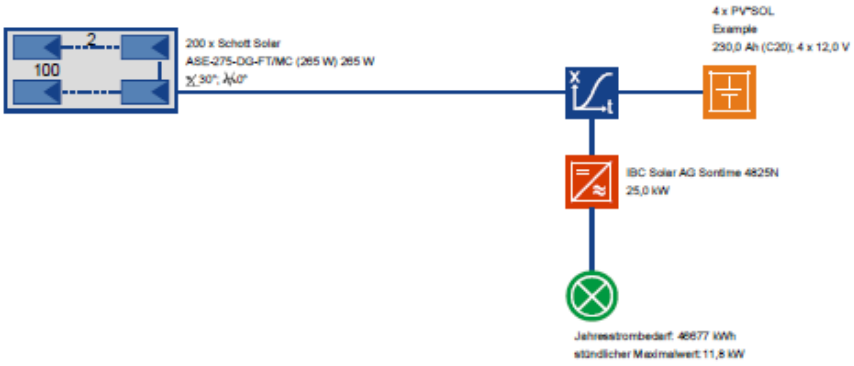
Anhang

Anhang Teil 1: PVSol Varianten 1-4

PVSol Variante 1: PV-Nennleistung 53 kWp; Batteriekapazität 0,92 kAh

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	26.07.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn
Klimadatensatz:	St. Pölten
PV-Leistung:	53,07 kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	428,86 / 429,38 m²

PV-Generator Einstrahlung:	487.503 kWh
PV-Gen. erzeugte Energie:	25.739 kWh
Verbrauch Bedarf:	46.677 kWh
Verbrauch solar gedeckt:	15.040 kWh
Verbrauch nicht gedeckt:	31.637,2 kWh

Solarer Deckungsanteil:	32,2 %
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	25,0 %
spez. Jahresertrag:	283,4 kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	9.234 kg/a
Systemnutzungsgrad:	3,1 %
PV-Generator Nutzungsgrad:	5,3 %

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	26.07.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	

Anlage im netzautarken Betrieb

Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	PV-Leistung:	53,07 kWp
Klimadatensatz:	St. Pölten	PV-Brutto-/Bezugsfläche:	428,9 m² / 429,4 m²
Anzahl der Teilgeneratoren:	1		

Name des Teilgenerators

Leistung:	53,07 kW	Bodenreflexion:	20,0 %
Brutto- / Bezugsfläche:	428,9 m² / 429,4 m²	Leistungsverluste durch	
PV-Modul	200 x	Abweichung vom AM 1.5:	1,0 %
Hersteller:	Schott Solar	Abw. Herstellerangaben:	2,0 %
Typ:	ASE-275-DG-FT/MC (265 W)	in Dioden:	0,5 %
Nennleistung:	265 W	durch Verschmutzung:	0,0 %
Abweichung der Nennleistung:	0 %		
Wirkungsgrad (STC):	12,4 %		
Anz. der Module in Reihe:	2		
MPP-Spannung (STC):	113 V		
Ausrichtung:	0,0 °		
Aufstellwinkel:	30,0 °		
Einbau:	Freie Aufstellung		
Verschattung:	nein		

Batterie

Hersteller:	PV*SOL	mittlerer Ladewirkungsgrad:	80,0 %
Typ:	Example	mittlerer Entladewirkungsgrad:	80,0 %
Nennspannung:	12,0 V	Laderegler	
Kapazität C20:	230,0 Ah	untere Entladeschwelle der Batt.:	30,0 %
Selbstentladung:	0,3 %/Tag		

Wechselrichter für netzautarke Anlagen

Hersteller:	IBC Solar AG	DC-Nennspannung:	230,0 V
Typ:	Sontime 4825N	Stand-By Verbrauch:	0,0 W
AC-Nennleistung:	25,0 kW	Wirkungsgrad bei Nennleistung:	91,0 %
AC-Nennspannung:	48,0 V		

Verbraucher 1 (Lastprofil)

Jahresbedarf:	46.677 kWh		
Stündlicher Maximalwert:	11,80 kW		
Wochenendverbrauch:	Samstag: 100 %	Sonntag: 100 %	
Verbrauchsprofil:	Wohnkomplex		
Urlaubszeiten:	keine		

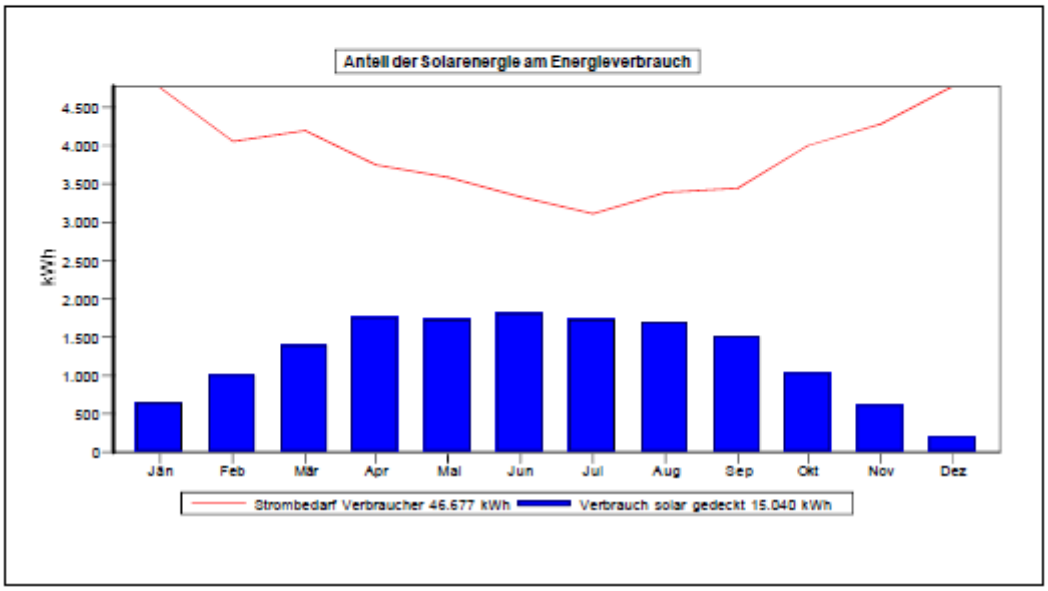
Einzelverbraucher Gesamtverbrauch: 0 kWh

neu		Typ: nutzerunabhängig	0 kWh

Simulationsergebnisse für das Gesamtsystem

Einstrahlung auf Horizontale:	442.765 kWh	Batterieverluste:	706 kWh
PV-Gen. Einstrahlung:	487.503 kWh	Ladezustand bei Sim.start:	27,3 %
Einstrahlung abzl. Reflexion:	466.092 kWh	Ladezustand bei Sim.ende:	27,3 %
PV-Gen. erzeugte Energie:	25.739 kWh	Solarer Deckungsanteil:	32,2 %
Verbrauch Bedarf:	46.677 kWh	Performance Ratio:	25,0 %
PV-Gen. direkt genutzt:	15.672 kWh	Final Yield:	0,8 h/d
Verbrauch nicht gedeckt:	31.637 kWh	spez. Jahresertrag:	283 kWh/kWp
PV-Generator Überschuß:	8.116 kWh	Systemnutzungsgrad:	3,1 %
Verbrauch solar gedeckt:	15.040 kWh	Generator Nutzungsgrad:	5,3 %
Batterie Entladung:	1.245 kWh	WR Nutzungsgrad:	88,9 %
Batterie Ladung:	1.951 kWh	Batterie Nutzungsgrad:	63,8 %

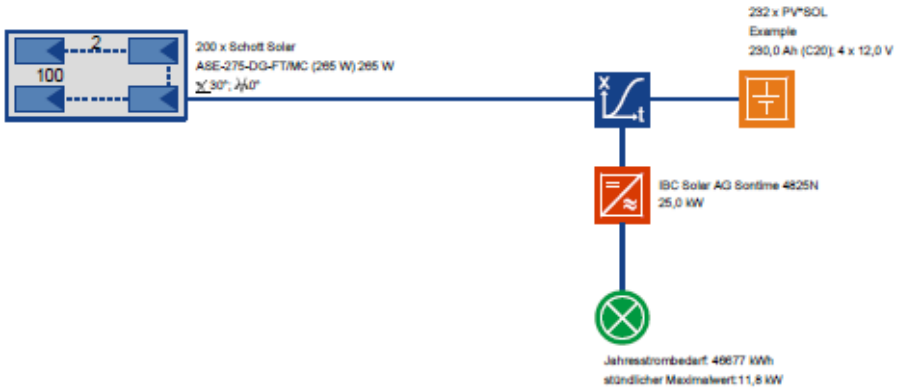
Projektname:	Zero Carbon Village	26.07.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



PVSol Variante 2: PV-Nennleistung 53 kWp; Batteriekapazität 53 kAh

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	
Klimadatensatz:	St. Pölten	
PV-Leistung:	53,07	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	428,86 / 429,38	m²

PV-Generator Einstrahlung:	487.503	kWh
PV-Gen. erzeugte Energie:	23.902	kWh
Verbrauch Bedarf:	46.677	kWh
Verbrauch solar gedeckt:	18.400	kWh
Verbrauch nicht gedeckt:	28.277,2	kWh

Solarer Deckungsanteil:	39,4	%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	30,5	%
spez. Jahresertrag:	346,7	kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	11.297	kg/a
Systemnutzungsgrad:	3,8	%
PV-Generator Nutzungsgrad:	4,9	%

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	

Anlage im netzautarken Betrieb

Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	PV-Leistung:	53,07 kWp
Klimadatensatz:	St. Pölten	PV-Brutto-/Bezugsfläche:	428,9 m² / 429,4 m²
Anzahl der Teilgeneratoren:	1		

Name des Teilgenerators

Leistung:	53,07 kW	Bodenreflexion:	20,0 %
Brutto- / Bezugsfläche:	428,9 m² / 429,4 m²	Leistungsverluste durch	
PV-Modul	200 x	Abweichung vom AM 1.5:	1,0 %
Hersteller:	Schott Solar	Abw. Herstellerangaben:	2,0 %
Typ:	ASE-275-DG-FT/MC (265 W)	in Dioden:	0,5 %
Nennleistung:	265 W	durch Verschmutzung:	0,0 %
Abweichung der Nennleistung:	0 %		
Wirkungsgrad (STC):	12,4 %		
Anz. der Module in Reihe:	2		
MPP-Spannung (STC):	113 V		
Ausrichtung:	0,0 °		
Aufstellwinkel:	30,0 °		
Einbau:	Freie Aufstellung		
Verschattung:	nein		

Batterie

Hersteller:	PV*SOL	mittlerer Ladewirkungsgrad:	80,0 %
Typ:	Example	mittlerer Entladewirkungsgrad:	80,0 %
Nennspannung:	12,0 V	Laderegler	
Kapazität C20:	230,0 Ah	untere Entladeschwelle der Batt.:	30,0 %
Selbstentladung:	0,3 %/Tag		

Wechselrichter für netzautarke Anlagen

Hersteller:	IBC Solar AG	DC-Nennspannung:	230,0 V
Typ:	Sontime 4825N	Stand-By Verbrauch:	0,0 W
AC-Nennleistung:	25,0 kW	Wirkungsgrad bei Nennleistung:	91,0 %
AC-Nennspannung:	48,0 V		

Verbraucher 1 (Lastprofil)

Jahresbedarf:	46.677 kWh		
Stündlicher Maximalwert:	11,80 kW		
Wochenendverbrauch:	Samstag: 100 %	Sonntag: 100 %	
Verbrauchsprofil:	Wohnkomplex		
Urlaubszeiten:	keine		

Einzelverbraucher Gesamtverbrauch: 0 kWh

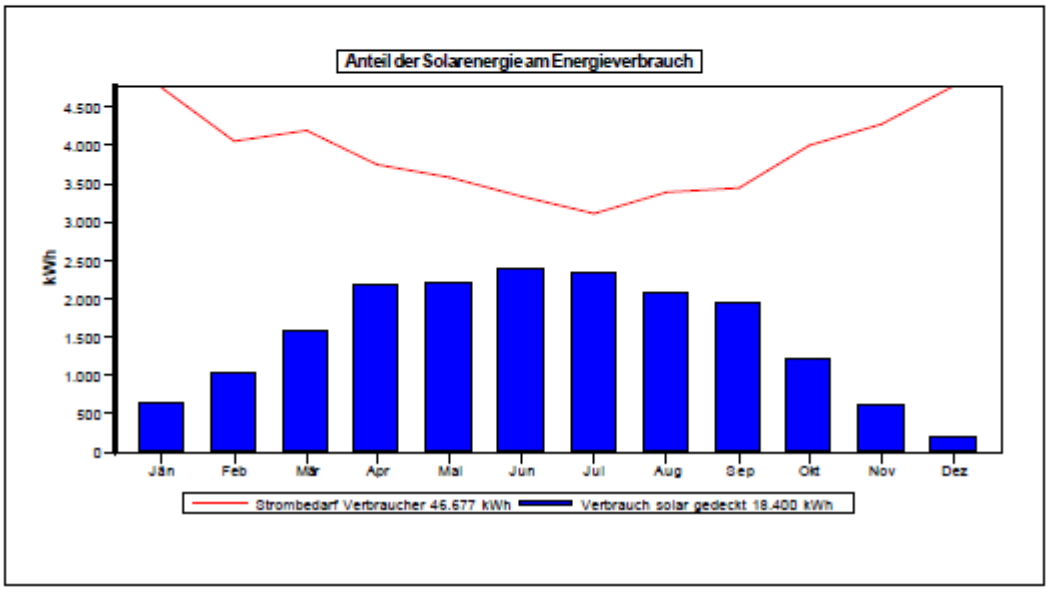
neu		Typ: nutzerunabhängig	0 kWh

Simulationsergebnisse für das Gesamtsystem

Einstrahlung auf Horizontale:	442.765 kWh	Batterieverluste:	3.184 kWh
PV-Gen. Einstrahlung:	487.503 kWh	Ladezustand bei Sim.start:	27,3 %
Einstrahlung abzl. Reflexion:	466.092 kWh	Ladezustand bei Sim.ende:	27,3 %
PV-Gen. erzeugte Energie:	23.902 kWh	Solarer Deckungsanteil:	39,4 %
Verbrauch Bedarf:	46.677 kWh	Performance Ratio:	30,5 %
PV-Gen. direkt genutzt:	15.536 kWh	Final Yield:	0,9 h/d
Verbrauch nicht gedeckt:	28.277 kWh	spez. Jahresertrag:	347 kWh/kWp
PV-Generator Überschuß:	0 kWh	Systemnutzungsgrad:	3,8 %
Verbrauch solar gedeckt:	18.400 kWh	Generator Nutzungsgrad:	4,9 %
Batterie Entladung:	5.182 kWh	WR Nutzungsgrad:	88,8 %
Batterie Ladung:	8.365 kWh	Batterie Nutzungsgrad:	61,9 %

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

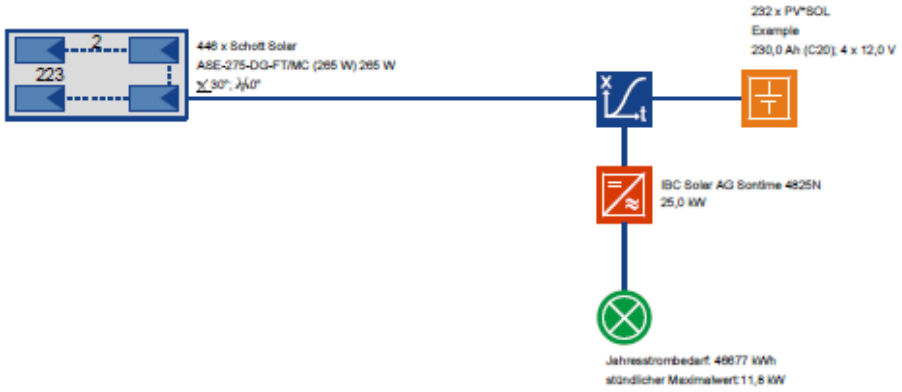
Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



PVSol Variante 3: PV-Nennleistung 118 kWp; Batteriekapazität 0,92 kAh

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	
Klimadatensatz:	St. Pölten	
PV-Leistung:	118,35	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	956,35 / 957,51	m²

PV-Generator Einstrahlung:	1.087.131	kWh
PV-Gen. erzeugte Energie:	57.903	kWh
Verbrauch Bedarf:	46.677	kWh
Verbrauch solar gedeckt:	31.105	kWh
Verbrauch nicht gedeckt:	15.572,0	kWh

Solarer Deckungsanteil:	66,6	%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	23,1	%
spez. Jahresertrag:	262,8	kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	19.098	kg/a
Systemnutzungsgrad:	2,9	%
PV-Generator Nutzungsgrad:	5,3	%

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	

Anlage im netzautarken Betrieb

Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	PV-Leistung:	118,35 kWp
Klimadatensatz:	St. Pölten	PV-Brutto-/Bezugsfläche:	956,3 m² / 957,5 m²
Anzahl der Teilgeneratoren:	1		

Name des Teilgenerators

Leistung:	118,35 kW	Bodenreflexion:	20,0 %
Brutto- / Bezugsfläche:	956,3 m² / 957,5 m²	Leistungsverluste durch	
PV-Modul	446 x	Abweichung vom AM 1.5:	1,0 %
Hersteller:	Schott Solar	Abw. Herstellerangaben:	2,0 %
Typ:	ASE-275-DG-FT/MC (265 W)	in Dioden:	0,5 %
Nennleistung:	265 W	durch Verschmutzung:	0,0 %
Abweichung der Nennleistung:	0 %		
Wirkungsgrad (STC):	12,4 %		
Anz. der Module in Reihe:	2		
MPP-Spannung (STC):	113 V		
Ausrichtung:	0,0 °		
Aufstellwinkel:	30,0 °		
Einbau:	Freie Aufstellung		
Verschattung:	nein		

Batterie

Hersteller:	PV*SOL	mittlerer Ladewirkungsgrad:	80,0 %
Typ:	Example	mittlerer Entladewirkungsgrad:	80,0 %
Nennspannung:	12,0 V	Laderegler	
Kapazität C20:	230,0 Ah	untere Entladeschwelle der Batt.:	30,0 %
Selbstentladung:	0,3 %/Tag		

Wechselrichter für netzautarke Anlagen

Hersteller:	IBC Solar AG	DC-Nennspannung:	230,0 V
Typ:	Sontime 4825N	Stand-By Verbrauch:	0,0 W
AC-Nennleistung:	25,0 kW	Wirkungsgrad bei Nennleistung:	91,0 %
AC-Nennspannung:	48,0 V		

Verbraucher 1 (Lastprofil)

Jahresbedarf:	46.677 kWh		
Stündlicher Maximalwert:	11,80 kW		
Wochenendverbrauch:	Samstag: 100 %	Sonntag: 100 %	
Verbrauchsprofil:	Wohnkomplex		
Urlaubszeiten:	keine		

Einzelverbraucher Gesamtverbrauch: 0 kWh

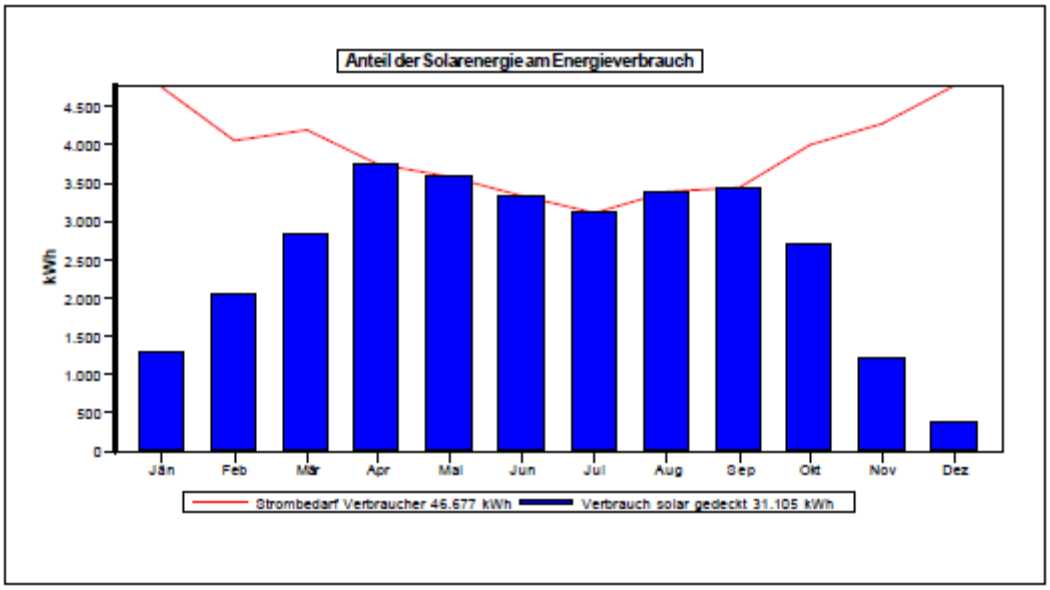
neu		Typ: nutzerunabhängig	0 kWh

Simulationsergebnisse für das Gesamtsystem

Einstrahlung auf Horizontale:	987.365 kWh	Batterieverluste:	9.148 kWh
PV-Gen. Einstrahlung:	1.087.131 kWh	Ladezustand bei Sim.start:	29,0 %
Einstrahlung abzl. Reflexion:	1.039.386 kWh	Ladezustand bei Sim.ende:	29,0 %
PV-Gen. erzeugte Energie:	57.903 kWh	Solarer Deckungsanteil:	66,6 %
Verbrauch Bedarf:	46.677 kWh	Performance Ratio:	23,1 %
PV-Gen. direkt genutzt:	19.895 kWh	Final Yield:	0,7 h/d
Verbrauch nicht gedeckt:	15.572 kWh	spez. Jahresertrag:	263 kWh/kWp
PV-Generator Überschuß:	13.543 kWh	Systemnutzungsgrad:	2,9 %
Verbrauch solar gedeckt:	31.105 kWh	Generator Nutzungsgrad:	5,3 %
Batterie Entladung:	15.316 kWh	WR Nutzungsgrad:	88,3 %
Batterie Ladung:	24.464 kWh	Batterie Nutzungsgrad:	62,6 %

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

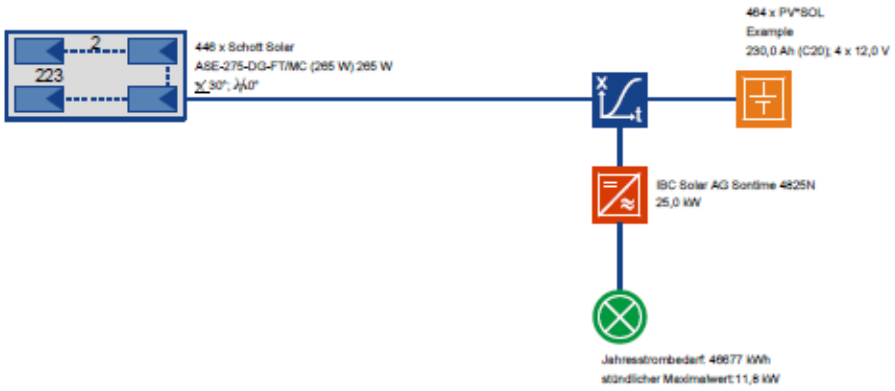
Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



PVSol Variante 4: PV-Nennleistung 118 kWp; Batteriekapazität 53 kAh

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	
Klimadatensatz:	St. Pölten	
PV-Leistung:	118,35	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	956,35 / 957,51	m²

PV-Generator Einstrahlung:	1.087.131	kWh
PV-Gen. erzeugte Energie:	58.177	kWh
Verbrauch Bedarf:	46.677	kWh
Verbrauch solar gedeckt:	31.348	kWh
Verbrauch nicht gedeckt:	15.329,4	kWh

Solarer Deckungsanteil:	67,2	%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	23,3	%
spez. Jahresertrag:	264,9	kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	19.247	kg/a
Systemnutzungsgrad:	2,9	%
PV-Generator Nutzungsgrad:	5,4	%

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	

Anlage im netzautarken Betrieb

Standort:	Traismauer- Gemeinlebarn	PV-Leistung:	118,35 kWp
Klimadatensatz:	St. Pölten	PV-Brutto-/Bezugsfläche:	956,3 m² / 957,5 m²
Anzahl der Teilgeneratoren:	1		

Name des Teilgenerators

Leistung:	118,35 kW	Bodenreflexion:	20,0 %
Brutto- / Bezugsfläche:	956,3 m² / 957,5 m²	Leistungsverluste durch	
PV-Modul	446 x	Abweichung vom AM 1.5:	1,0 %
Hersteller:	Schott Solar	Abw. Herstellerangaben:	2,0 %
Typ:	ASE-275-DG-FT/MC (265 W)	in Dioden:	0,5 %
Nennleistung:	265 W	durch Verschmutzung:	0,0 %
Abweichung der Nennleistung:	0 %		
Wirkungsgrad (STC):	12,4 %		
Anz. der Module in Reihe:	2		
MPP-Spannung (STC):	113 V		
Ausrichtung:	0,0 °		
Aufstellwinkel:	30,0 °		
Einbau:	Freie Aufstellung		
Verschattung:	nein		

Batterie

Hersteller:	PV*SOL	mittlerer Ladewirkungsgrad:	80,0 %
Typ:	Example	mittlerer Entladewirkungsgrad:	80,0 %
Nennspannung:	12,0 V	Laderegler	
Kapazität C20:	230,0 Ah	untere Entladeschwelle der Batt.:	30,0 %
Selbstentladung:	0,3 %/Tag		

Wechselrichter für netzautarke Anlagen

Hersteller:	IBC Solar AG	DC-Nennspannung:	230,0 V
Typ:	Sontime 4825N	Stand-By Verbrauch:	0,0 W
AC-Nennleistung:	25,0 kW	Wirkungsgrad bei Nennleistung:	91,0 %
AC-Nennspannung:	48,0 V		

Verbraucher 1 (Lastprofil)

Jahresbedarf:	46.677 kWh		
Stündlicher Maximalwert:	11,80 kW		
Wochenendverbrauch:	Samstag: 100 %	Sonntag: 100 %	
Verbrauchsprofil:	Wohnkomplex		
Urlaubszeiten:	keine		

Einzelverbraucher Gesamtverbrauch: 0 kWh

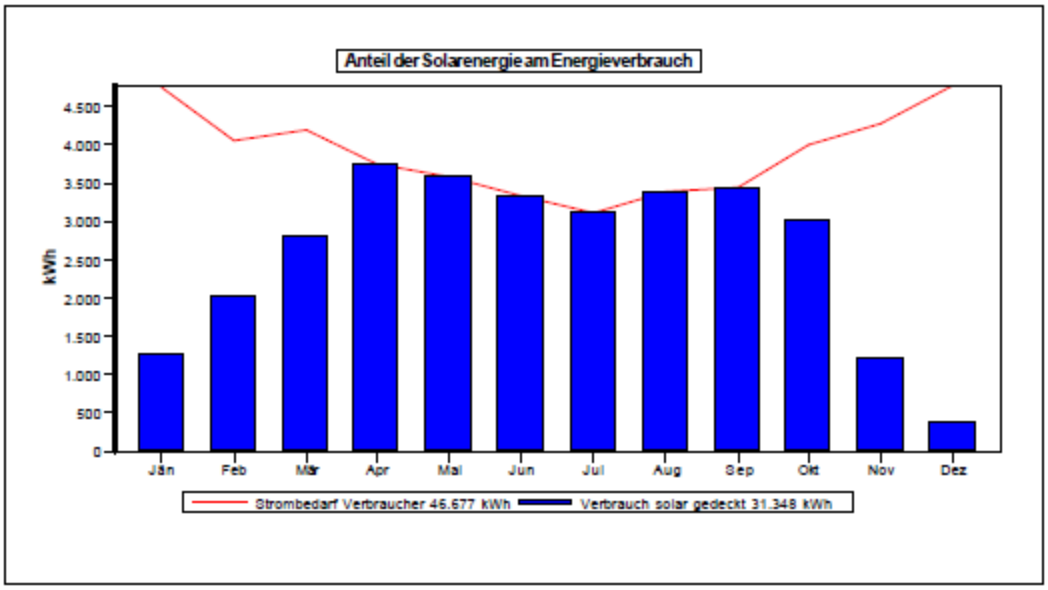
neu		Typ: nutzerunabhängig	0 kWh

Simulationsergebnisse für das Gesamtsystem

Einstrahlung auf Horizontale:	987.365 kWh	Batterieverluste:	9.881 kWh
PV-Gen. Einstrahlung:	1.087.131 kWh	Ladezustand bei Sim.start:	28,7 %
Einstrahlung abzl. Reflexion:	1.039.386 kWh	Ladezustand bei Sim.ende:	28,7 %
PV-Gen. erzeugte Energie:	58.177 kWh	Solarer Deckungsanteil:	67,2 %
Verbrauch Bedarf:	46.677 kWh	Performance Ratio:	23,3 %
PV-Gen. direkt genutzt:	19.916 kWh	Final Yield:	0,7 h/d
Verbrauch nicht gedeckt:	15.329 kWh	spez. Jahresertrag:	265 kWh/kWp
PV-Generator Überschuß:	12.806 kWh	Systemnutzungsgrad:	2,9 %
Verbrauch solar gedeckt:	31.348 kWh	Generator Nutzungsgrad:	5,4 %
Batterie Entladung:	15.574 kWh	WR Nutzungsgrad:	88,3 %
Batterie Ladung:	25.456 kWh	Batterie Nutzungsgrad:	61,2 %

teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
1050 Wien

Projektname:	Zero Carbon Village	03.08.2012
Variantenbezeichnung:	Alternativenprüfung PV Versorgung	



Anhang Teil 2: Meteonorm Klimadaten Gemeinlebarn

Name of site = Gemeinlebarn

Latitude [°] = 48.338, Longitude [°] = 15.805, Altitude [m] = 194, Climatic zone = III, 3

Radiation model = Default (hour); Temperature model = Default (hour)

Tilt radiation model = Perez

Temperature: New period = 1996-2005

Radiation: New period = 1981-2000

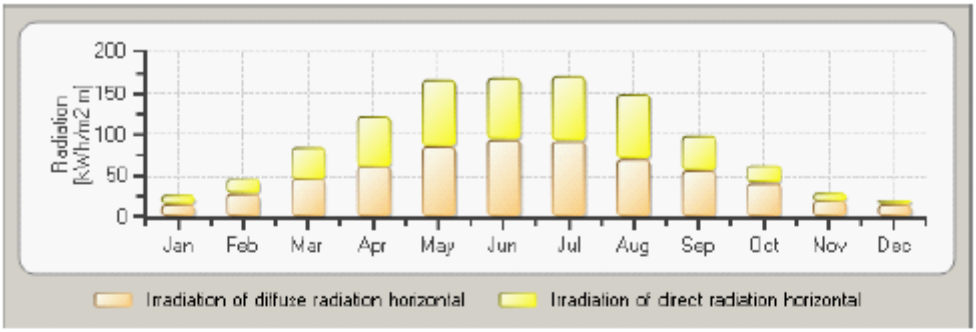
RD: Only 4 station(s) for interpolation

Nearest 3 stations: Gh: Wien-Hohe Warte (43 km), Grossenzersdorf (59 km), Obersiebenbrunn (68 km)

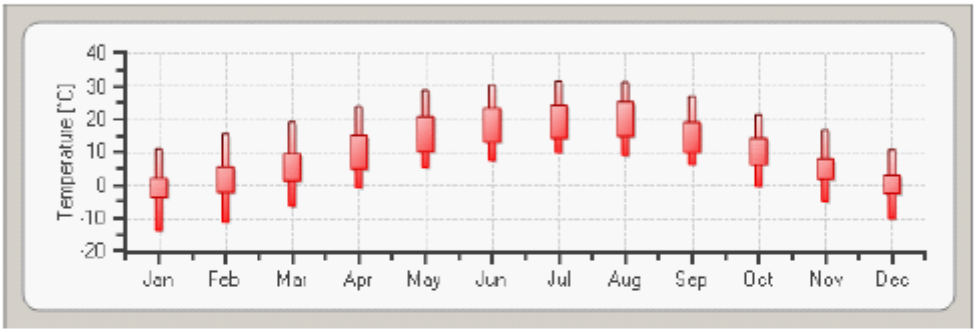
Nearest 3 stations: Ta: LANGENOIS (AUT) (16 km), LANGENLEBARN/TULLN (23 km), St. Poelten (21 km)

Month	Ta	H_Gh	Bh	H_Dh	Lg	Ld
	[C]	[kWh/m2]	Bh	[kWh/m2]	[cd/m2]	[cd/m2]
Jan	-0.7	27	12	15	3847	2558
Feb	1.6	46	18	28	7255	4934
Mar	5.1	84	38	46	12155	7368
Apr	10.3	122	61	61	18286	10312
May	15.9	166	81	85	24298	13996
Jun	18.7	168	74	94	25671	16032
Jul	19.7	170	78	92	25276	15353
Aug	20.0	149	79	70	22086	12117
Sep	14.8	98	42	56	15127	9696
Oct	10.2	63	22	41	9447	6810
Nov	4.9	29	10	19	4471	3237
Dec	0.1	20	6	15	3037	2474
Year	10.1	1139	521	621	14246	8741

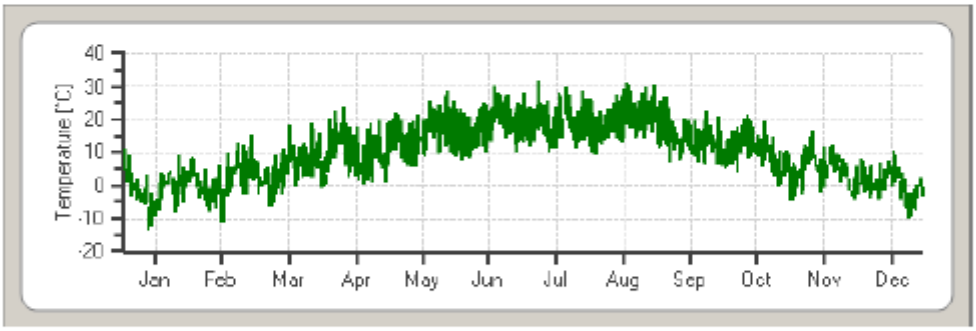
Legend:
H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal
H_Dh: Leg_H_Dh
Ta: Air temperature Lg: Global luminance
Ld: Diffuse lumninance
H_Bh: Irradiation of direct radiation horizontal
RD: Only 4 station(s) for interpolation



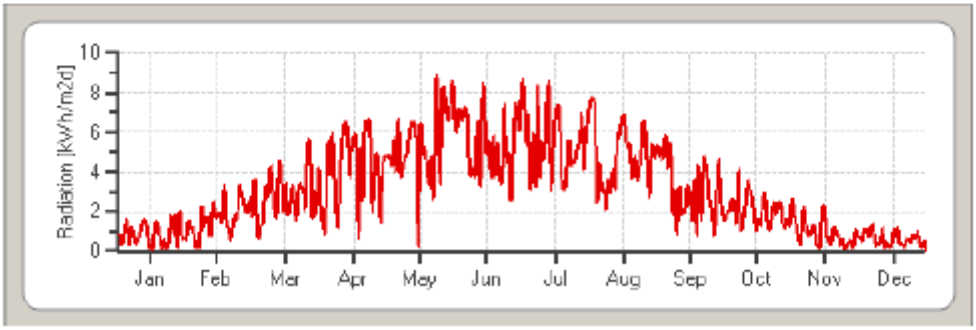
C:\Programme\Gemeinsame Dateien\mn61\output\Fig_ghdh5.png



C:\Programme\Gemeinsame Dateien\mn61\output\fig_tamima5.png

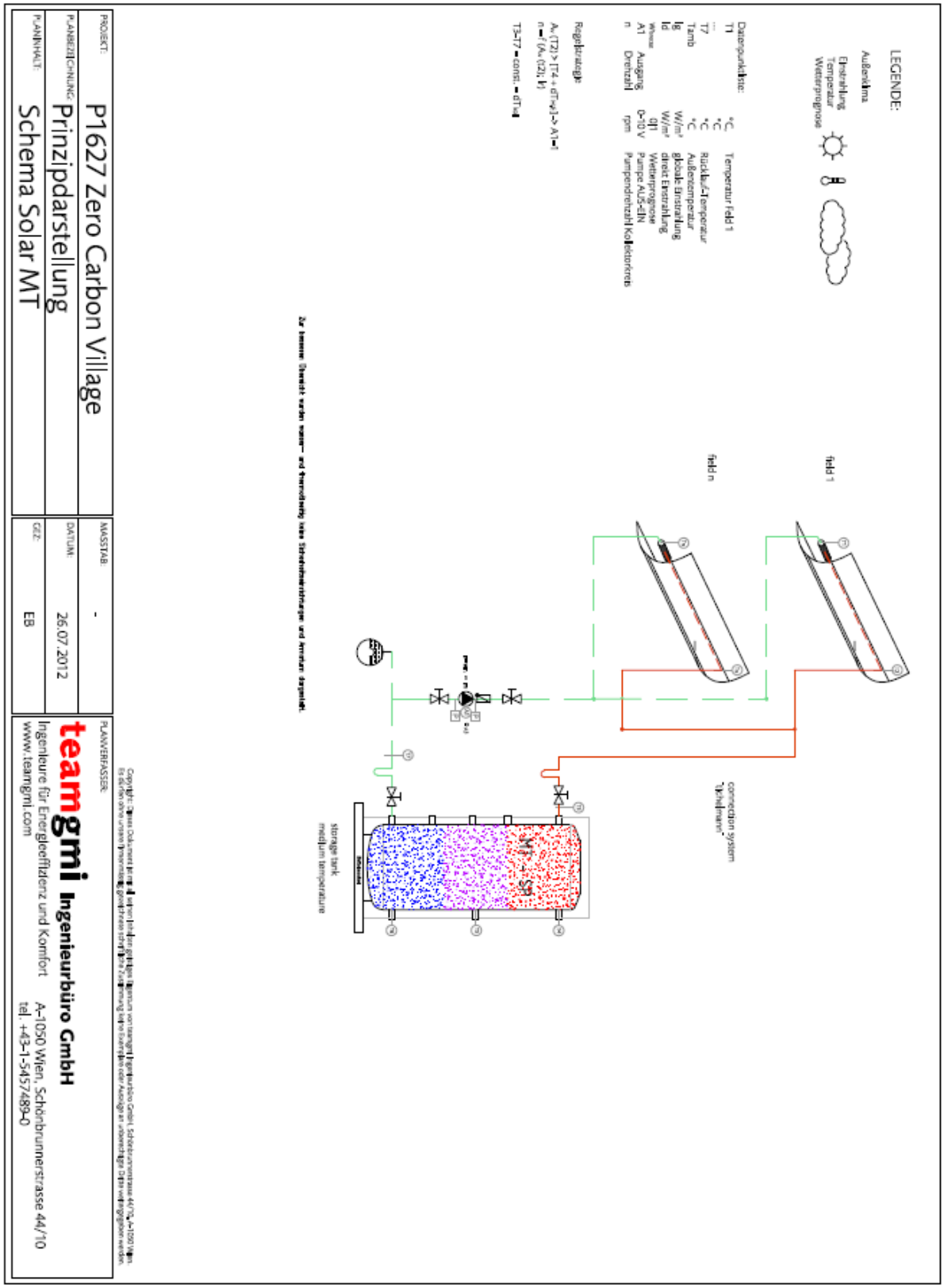


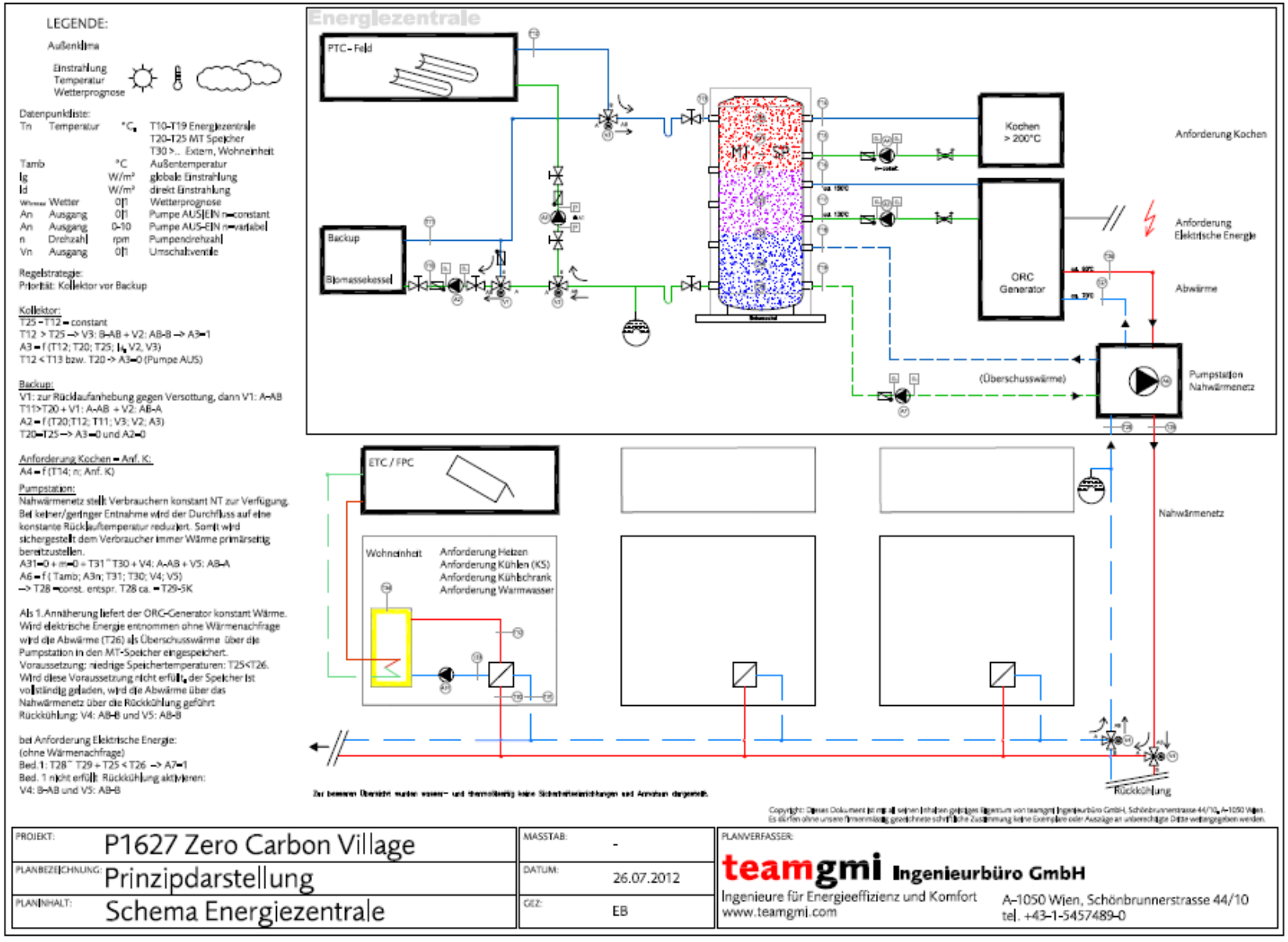
C:\Programme\Gemeinsame Dateien\mn61\output\fig_tadaily5.png



C:\Programme\Gemeinsame Dateien\mn61\output\fig_ghdaily5.png

Anhang Teil 3: Schemata Kollektorkreis und Energiezentrale




LEGENDE:
Außenklima
Einstrahlung
Temperatur
Wetterprognose
Datenpunktliste:
Tn Temperatur °C T10-T19 Energiezentrale
T20-T25 MT Speicher
T30 >.. Extern, Wohneinheit
Tamb °C Außentemperatur
Ig W/m² globale Einstrahlung
Id W/m² direkt Einstrahlung
Wetter 0|1 Wetterprognose
An Ausgang 0|1 Pumpe AUS|EIN n=constant
An Ausgang 0-10 Pumpe AUS-EIN n=variabel
n Drehzahl rpm Pumpendrehzahl
Vn Ausgang 0|1 Umschaltventile
Regelstrategie:
Priorität: Kollektor vor Backup
Kollektor:
T25 - T12 = constant
T12 > T25 --> V3: B-AB + V2: AB-B --> A3=1
A3 = f (T12; T20; T25; Ig V2, V3)
T12 < T13 bzw. T20 -> A3=0 (Pumpe AUS)
Backup:
V1: zur Rücklaufanhebung gegen Versottung, dann V1: A-AB
T11>T20 + V1: A-AB + V2: AB-A
A2 = f (T20;T12; T11; V3; V2; A3)
T20=T25 --> A3=0 und A2=0
Anforderung Kochen = Anf. K:
A4 = f (T14; n; Anf. K)
Pumpstation:
Nahwärmenetz stellt Verbrauchern konstant NT zur Verfügung.
Bei kleiner/geringer Entnahme wird der Durchfluss auf eine konstante Rücklauftemperatur reduziert. Somit wird sichergestellt dem Verbraucher immer Wärme primärseitig bereitzustellen.
A31=0 + n=0 + T31 ~ T30 + V4: A-AB + V5: AB-A
A6 = f (Tamb; A3n; T31; T30; V4; V5)
--> T28 =const. entspr. T28 ca. = T29-5K
Als 1.Annäherung liefert der ORC-Generator konstant Wärme. Wird elektrische Energie entnommen ohne Wärmenachfrage wird die Abwärme (T26) als Überschusswärme über die Pumpstation in den MT-Speicher eingespeichert.
Voraussetzung: niedrige Speichertemperaturen: T25<T26.
Wird diese Voraussetzung nicht erfüllt, der Speicher ist vollständig geladen, wird die Abwärme über das Nahwärmenetz über die Rückkühlung geführt
Rückkühlung: V4: AB-B und V5: AB-B
bei Anforderung Elektrische Energie:
(ohne Wärmenachfrage)
Bed.1: T28 ~ T29 + T25 < T26 --> A7=1
Bed. 1 nicht erfüllt: Rückkühlung aktivieren:
V4: B-AB und V5: AB-B
Energiezentrale
PTC - Feld
Backup
Biomassekessel
MT
SP
Kochen
> 200°C
ORC
Generator
Anforderung Kochen
Anforderung
Elektrische Energie
Abwärme
(Überschusswärme)
Pumpstation
Nahwärmenetz
ETC / FPC
Wohneinheit
Anforderung Heizen
Anforderung Kühlen (KS)
Anforderung Kühlschrank
Anforderung Warmwasser
Nahwärmenetz
Rückkühlung
Zur besseren Übersicht wurden wasser- und thermikseitig keine Sicherheitseinrichtungen und Armaturen dargestellt.
Copyright: Dieses Dokument ist mit all seinen Inhalten geistiges Eigentum von teamgmi Ingenieurbüro GmbH, Schönbrunnerstrasse 44/10, A-1050 Wien.
Es dürfen ohne unsere firmenmäßig gezeichnete schriftliche Zustimmung keine Exemplare oder Auszüge an unberechtigte Dritte weitergegeben werden.
PROJEKT: P1627 Zero Carbon Village
PLANBEZEICHNUNG: Prinzipdarstellung
PLANINHALT: Schema Energiezentrale
MASSTAB: -
DATUM: 26.07.2012
GEZ: EB
PLANVERFASSER:
teamgmi Ingenieurbüro GmbH
Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort
www.teamgmi.com
A-1050 Wien, Schönbrunnerstrasse 44/10
tel. +43-1-5457489-0

Anhang Teil 4: Detaillierte Auswertung der Beleuchtungsvarianten

Ergebnisse

	Leuchtstoffröhre T16	LED Ungesteuert	LED Gesteuert Jahresverlauf
1. Gesamtergebnisse			
Mittlere Gesamtkosten pro Jahr (absolut) [EUR/a]	4 182	3 990	2 767
Mittlere Gesamtkosten pro Jahr (relativ) [%]	Base	95,42	66,16
Mittlere Gesamtkosten-Einsparung pro Jahr (absolut) [EUR]	Base	192	1 415
Mittlere Gesamtkosten-Einsparung pro Jahr (relativ) [%]	Base	4,58	33,84
Gesamtkosten der Lichtlösung über die Lebenszeit (absolut) [EU	50 179	47 880	33 200
Gesamtkosten der Lichtlösung über die Lebenszeit (relativ) [%]	Base	95,42	66,16
Gesamtkosten-Einsparung der Lichtlösung über die Lebenszeit	Base	2 299	16 979
Gesamtkosten-Einsparung der Lichtlösung über die Lebenszeit	Base	4,58	33,84
Kapitalrendite (ROI) [Ratio]	Base	1,51	-
Amortisation der Lichtlösung [a]	Base	7,96	2,87
Nettobarwert der Lichtlösung [EUR]	Base	6 821	22 312
Investitionskosten vs. Betriebskosten der Lichtlösung (absolut)	4 275 : 45 904	8 798 : 39 083	9 608 : 23 591
Verlauf der Gesamtkosten der Lichtlösung über die Lebenszeit	→ Grafik	→ Grafik	→ Grafik
Mittlerer Energieverbrauch pro m² und Jahr (LENI) [kWh/m²/a]	48,54	41,66	22,33
Gesamt-CO2-Emission über die Lebenszeit [kg]	21 319	18 298	9 808
Gesamt-CO2-Emissions-Einsparung über die Lebenszeit [%]	Base	14,17	53,99
Beleuchtungsstärkeverlauf	→ Grafik	→ Grafik	→ Grafik
Umweltfreundlichste Lichtlösung	**3**	**2**	**1**
2. Lichtlösungskriterien			
2.1. Energiekriterien			
Mittlerer Energieverbrauch pro Jahr [kWh/a]	9 708	8 333	4 466
Mittlerer Energieverbrauch pro m² und Jahr (LENI) [kWh/m²/a]	48,54	41,66	22,33
Mittlere Energieeinsparung pro Jahr (absolut) [kWh/a]	Base	1 375	5 242
Mittlere Energieeinsparung pro Jahr (relativ) [%]	Base	14,17	53,99
Gesamt-Energieverbrauch über die Lebenszeit [kWh]	116 495	99 992	53 597
Gesamt-Energieeinsparung über die Lebenszeit (relativ) [%]	Base	14,17	53,99
Verlauf der Energieeinsparung über die Lebenszeit	→ Grafik	→ Grafik	→ Grafik
Gesamtleistung der Lichtlösung [W]	3 077	2 622	2 632
2.2. Umweltkriterien			
Mittlere CO2-Emission pro Jahr [kg/a]	1 777	1 525	817
Mittlere CO2-Emissionsreduktion pro Jahr (absolut) [kg]	Base	252	959
Mittlere CO2-Emissionsreduktion pro Jahr (relativ) [%]	Base	14,17	53,99
Gesamt-CO2-Emission über die Lebenszeit [kg]	21 319	18 298	9 808
Gesamt-CO2-Emissionsreduktion über die Lebenszeit (absolut)	Base	3 020	11 510

Ergebnisse (Fortsetzung)

	Leuchtstoffröhre T16	LED Ungesteuert	LED Gesteuert Jahresverlauf
Gesamt-CO2-Emissionsreduktion über die Lebenszeit (relativ) [%	Base	14,17	53,99
Lichtlösungsvergleich durch Alleinstellungsmerkmale (USP)			
3. Leuchten			
3.1. Leuchte - Hauptkomponente			
3.1.1. Photometrie	**Perluce T16 2x49W**	**icuba LED 55W Hau**	**icuba LED 55W Hau**
Wartungsfaktor			
Beleuchtungsstärkeverlauf	0,69	0,7	0,72
Wartungsfaktorverlauf	→ Grafik	→ Grafik	→ Grafik
3.1.2. Nutzung	**→ Tabelle**	**→ Tabelle**	**→ Tabelle**
Anwesenheitsgrad			
Konstantlichtfaktor	1	1	0,8
Tageslichtsteuerung	1	1	1
Nutzungsgrad der Anlage [%]	1	1	-
Resultierende Brennstunden pro Jahr [h/a]	100	100	100
Mittleres Dimmniveau [%]	3 129	3 129	3 360
Lampenpreis (Installation) [EUR]	100	100	-
Leuchtenpreis [EUR]			
Leuchtenanzahl [pcs]	3	0	0
Installations- und Materialkosten [EUR]	130	180	180
Installationskosten gesamt [EUR]	15	24	12
3.1.3. Wartung	**264**	**270**	**135**
Mittlere Anzahl ausgetauschter Lampen pro Jahr [pcs/a]	2 214	4 590	2 295
3.1.4. Betriebs- und Wartungskosten			
Lampenaustauschkosten pro Jahr [EUR/a]	7,5	0	0
Mittlere Energiekosten pro Jahr [EUR/a]			
Mittlere Energiekosten-Einsparung pro Jahr [EUR/a]	26,61	0	0
Gesamt-Energiekosten [EUR]	1 686	1 459	230
Gesamt-Energiekosten-Einsparung [EUR]	Base	226	1 455
Potentielle Energiekosten-Einsparung mit Maintenance Control [	20 227	17 512	2 763
Mittlere Reinigungskosten pro Jahr [EUR/a]	Base	2 715	17 464
Gesamt-Reinigungskosten über die Lebenszeit [EUR]	2 524	MC=ON	173
Mittlere Wartungskosten für Lampentausch pro Jahr [EUR/a]	14,06	22,5	11,25
Gesamt-Wartungskosten für Lampentausch über die Lebensze	169	270	135
Mittlere Wartungskosten für Austausch von Betriebsgeräten pro	71,61	0	0
Mittlere Austauschkosten von Ersatzteilen pro Jahr [EUR/a]	859	0	0

Ergebnisse (Fortsetzung)

	Leuchtstoffröhre T16	LED Ungesteuert	LED Gesteuert Jahresverlauf
Mittlere Wartungskosten pro Jahr [EUR/a]	0	0	0
Gesamt-Wartungskosten über die Lebenszeit [EUR]	0	0	0
3.1.5. Umweltkriterien	**85,67**	**22,5**	**11,25**
Mittlere CO2-Emission pro Jahr [kg/a]	1 028	270	135
Gesamt-CO2-Emission über die Lebenszeit [kg]			
CO2-Emissionsreduktion über die Lebenszeit (absolut) [kg]	919	796	126
CO2-Emissionsreduktion über die Lebenszeit (relativ) [%]	11 027	9 547	1 506
Potentielle CO2-Emissionsreduktion über die Lebenszeit mit Mai	Base	1 480	9 521
Alleinstellungsmerkmale (USP)	Base	13,42	86,34
3.2. Leuchtenkomponente 2	**1 376**	**MC=ON**	**94,42**
3.2.1. Nutzung			
Anwesenheitsgrad			
Konstantlichtfaktor	Perluce T16 2x49W Zicuba LED 55W Zubacuba LED 55W Haup		
Tageslichtsteuerung			
Nutzungsgrad der Anlage [%]	1	1	0,8
Resultierende Brennstunden pro Jahr [h/a]	1	1	1
Mittleres Dimmniveau [%]	1	1	-
Lampenpreis (Installation) [EUR]	100	100	100
Leuchtenpreis [EUR]	3 129	3 129	3 360
Leuchtenanzahl [pcs]	100	100	-
Installations- und Materialkosten [EUR]			
Installationskosten gesamt [EUR]	3	0	0
3.2.2. Wartung	**130**	**180**	**180**
Mittlere Anzahl ausgetauschter Lampen pro Jahr [pcs/a]	14	22	12
3.2.3. Betriebs- und Wartungskosten	**242**	**248**	**135**
Lampenaustauschkosten pro Jahr [EUR/a]	2 062	4 208	2 295
Mittlere Energiekosten pro Jahr [EUR/a]			
Mittlere Energiekosten-Einsparung pro Jahr [EUR/a]	7	0	0
Gesamt-Energiekosten [EUR]			
Gesamt-Energiekosten-Einsparung [EUR]	24,84	0	0
Mittlere Reinigungskosten pro Jahr [EUR/a]	1 573	1 338	135
Gesamt-Reinigungskosten über die Lebenszeit [EUR]	Base	235	1 438
Mittlere Wartungskosten für Lampentausch pro Jahr [EUR/a]	18 878	16 053	1 624
Gesamt-Wartungskosten für Lampentausch über die Lebensze	Base	2 825	17 254
Mittlere Wartungskosten für Austausch von Betriebsgeräten pro	13,13	20,63	11,25