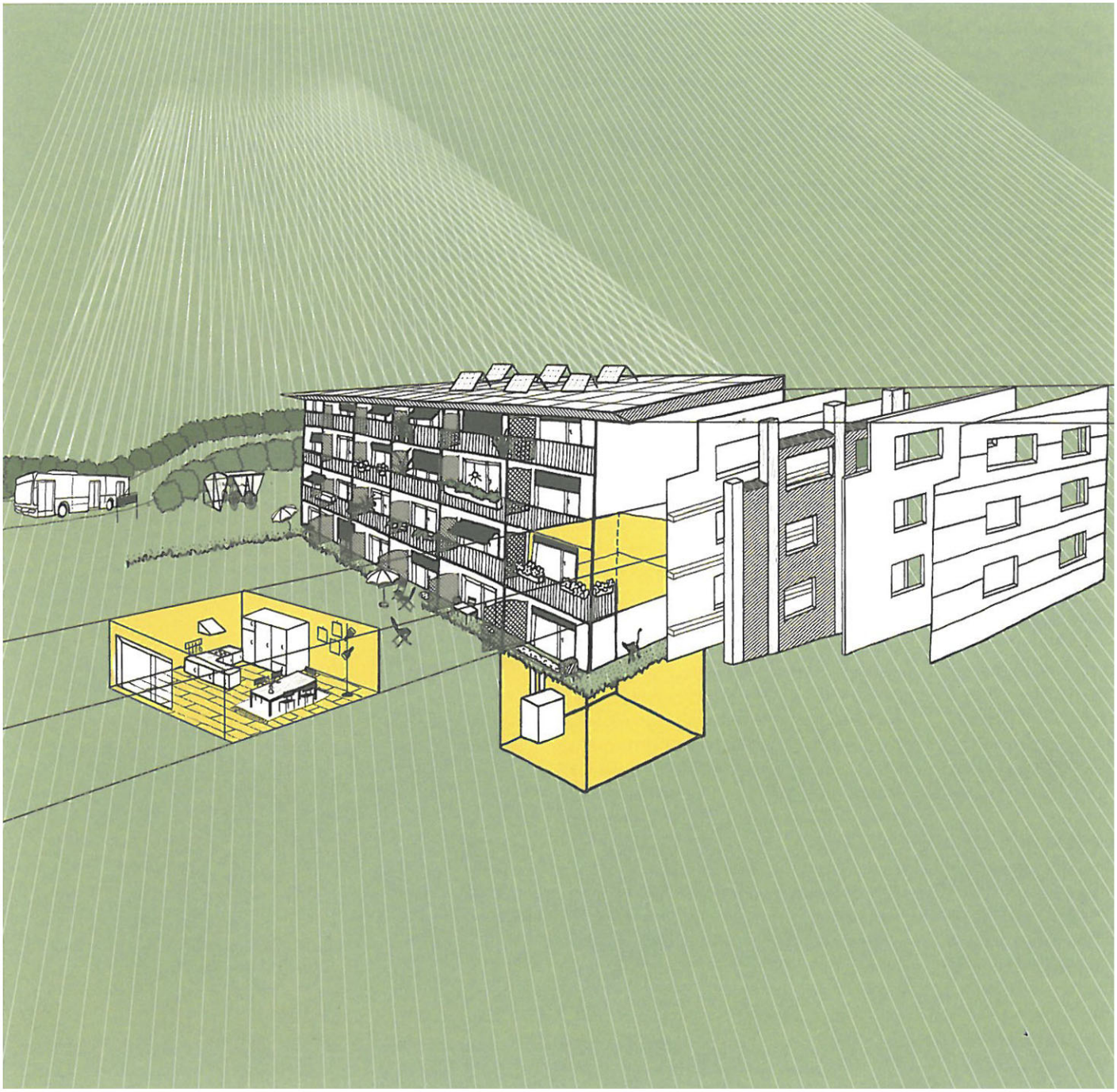
Lignatec

Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz

Umsetzung



ETH/IBI Novatlantis

Lignum

Inhalt

Autoren

Christoph Aeschbacher
dipl. Forsting. ETH, Zürich
(Kapitel 4)
Olin Bartlomé
dipl. Holzing. FH, Zürich
(Kapitel 1, 5 und 6)
Regula Gehrig,
Kommunikation CO_2-Bank, Biel
(Kapitel 1.2 und 5.2)
Paul Knüsel
dipl. sc. nat. ETH, Journalist BR,
Zürich
(Kapitel 4)
Urs Christian Luginbühl,
dipl. Holzing. HTL, Biel
(Kapitel 1.2 und 5.2)
Katrin Pfäffli
dipl. Arch. ETH/SIA, Zürich
(Kapitel 2 und 3)
Hansruedi Preisig
dipl. Arch. SIA, Zürich
(Kapitel 2 und 3)

Titelbild

Charakteristik Holzbau
Manuela Murschetz, Zürich

Seite 4 **1 Die Umwelt ist ein Thema – zu Recht**
1.1 Wald und Holz als Wegbereiter eines nachhaltigeren Gebäudeparks
1.2 CO_2-Bank: Kommunikationsmittel für die Klimaleistung von Holz
1.3 Bewertung der Nachhaltigkeit

6 **2 Hintergründe und Konzeption von klimaschonenden Gebäuden**
2.1 Die 2000-Watt-Gesellschaft als Zielvorstellung
2.2 Energie und Treibhausgasemissionen
2.2.1 Graue Energie/Primärenergie nicht-erneuerbar
2.2.2 Amortisation
2.2.3 Zielwerte
2.3 Die drei Bereiche Betrieb, Erstellung und Mobilität
2.3.1 Einflussfaktoren beim Betrieb
2.3.2 Einflussfaktoren bei der Erstellung
2.3.3 Einfluss des Gebäudestandortes
2.4 Besonderheiten im Planungsprozess
2.5 Der Begriff ‹Nachhaltigkeit›
2.6 Das Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie› im Kontext

11 **3 Umsetzung von klimaschonenden Gebäuden nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›**
3.1 Siedlung Grünmatt – Holzbau macht's möglich
3.1.1 Erstellung, Betrieb und Mobilität
3.1.2 Gesamtbeurteilung nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›
3.1.3 Exkurs: Decken
3.2 Mehrfamilienhaus Segantinistrasse, Zürich – Umbau schlägt Neubau
3.2.1 Erstellung, Betrieb und Mobilität
3.2.2 Gesamtbeurteilung nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›
3.2.3 Exkurs: Sanierung kontra Neubau
3.3 Hughaus – Geschicktes Energiekonzept
3.3.1 Erstellung, Betrieb und Mobilität
3.3.2 Gesamtbeurteilung nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›
3.4 Schulhaus Eichmatt – Einmal gross statt zweimal klein
3.4.1 Erstellung, Betrieb und Mobilität
3.4.2 Gesamtbeurteilung nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›

42 **4 Umsetzung Energiegenerierung und intelligente Gebäudetechnik**
4.1 Primärenergiebedarf und Treibhausgasausstoss
4.2 Holzfeuerungen: Vielfältiges Einsatzspektrum
4.3 Biomasse: Energie im Hochtemperaturbereich
4.4 Holzfeuerungen im Wärmecontracting
4.5 Erneuerbare Energie im vernetzten System
4.6 Polyvalente Versorgungskonzepte

47 **5 Energiekennzahlen als Messgrössen der Energiereduktion**
5.1 Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes
5.2 Der Gebäudeenergieausweis nach Merkblatt SIA 2031 ‹Energieausweis für Gebäude›

50 **6 Ausblick**

3 Umsetzung von klimaschonenden Gebäuden nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›

Beispiel für die Gebäudekategorie Wohnen / Neubau

Figur 7: Gartenstadt-Siedlung Grünmatt mit Loggien und Aussenwänden in Holzrahmenbauweise mit hinterlüfteter Holzbekleidung. Visualisierung: architron, Zürich

3.1 Siedlung Grünmatt – Holzbau macht's möglich

Städtebau / Quartier

Der Friesenberg in Zürich liegt am Fuss des Üetlibergs und ist mehrheitlich locker mit Häuserreihen bebaut. Die Familienheim-Genossenschaft Zürich FGZ vermietet in diesem Quartier rund 2200 Wohnobjekte. An der Grünmatt-, Baumhaldenstrasse werden 155 Wohneinheiten errichtet. Das Projekt von Graber Pulver Architekten ersetzt 64 Reiheneinfamilienhäuser aus dem Jahr 1929, welche in einem schlechten baulichen Zustand sind, energetisch nicht mehr heutigen Anforderungen entsprechen und bezüglich Wohnqualität und Behaglichkeit den heutigen Bedürfnissen nicht mehr genügen.

Projekt

Das Projekt ging aus einem Studienauftrag hervor. Die FGZ erwartete ‹eine zukunftsweisende Interpretation zum Thema Gartenstadt›, verlangte also explizit ein gutes Angebot an öffentlichen und privaten Aussenräumen. Graber Pulver Architekten ordneten dreizehn Bauten in vier leicht gebogenen Gebäudezeilen an, was stark an die Lage der vormaligen Reihenhäuser erinnert. Gelobt wurde das Projekt im Jurybericht als ‹eine innovative Weiterentwicklung von Zeilenbau und Reihenhaus›. Energetisch wurden im Studienauftrag keine spezifischen Vorgaben formuliert.

Betrachtet wird hier das Haus 4, angeordnet im Südwesten der Parzelle. Es handelt sich dabei um einen viergeschossigen Baukörper mit jeweils vier Wohnungen pro Geschoss, die über zwei Treppenhäuser erschlossen sind. Die Grundrisse zeichnen sich durch einen Tagesbereich aus, der sich über die ganze Gebäudetiefe erstreckt. Diesem ist jeweils im Süden – und damit hangseitig – eine grosszügige private Loggia vorgelagert. Ein leicht geneigtes Pultdach öffnet sich gegen die Sonnenseite. Im Sockelgeschoss sind einzelne Individualzimmer und alle Nebenräume der Wohnungen untergebracht. Parkgelegenheiten finden sich in einer grossen gemeinsamen Einstellhalle für alle 13 Häuser zwischen den beiden oberen Zeilen. Für die Berechnung wird hier 10 % dieser Einstellhalle dem Haus 4 zugeordnet. Dies entspricht dem proportionalen Anteil des Hauses an der gesamten Geschossfläche in der Siedlung.

Das Energiekonzept in den FGZ-Siedlungen am Friesenberg ist im Umbruch. Bis Mitte 2012 wird der Wärmebedarf der Siedlungen der FGZ noch mit einer Ölheizung gedeckt. Die Genossenschaft kann in Zukunft diese Heizung durch Abwärmenutzung umliegender Grossbetriebe, kombiniert mit lokalen Wärmepumpen, ersetzen. Die Siedlung Grünmatt ist die erste Siedlung der FGZ, welche an diese gut verfügbare und bisher kaum genutzte Wärmequelle angeschlossen wird. Sie macht damit den Auftakt für den Ausbau des Anergienetzes am Friesenberg.

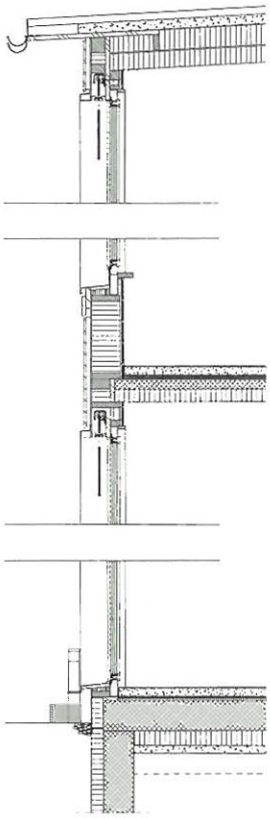
3.1.1 Erstellung, Betrieb und Mobilität

Erstellung

Die relativ kleinen und schlanken Volumen der Siedlung bieten keine guten Voraussetzungen für wenig Graue Energie und wenig Treibhausgasemissionen. Dank der kompakten Gebäudeform mit vorgesetzter Balkonschicht und der gewählten Holzbauweise gelingt hier trotzdem ein beachtliches Resultat.

Über dem teilweise in den Hang geschobenen Sockelgeschoss in Massivbauweise wird der dreigeschossige Gebäudeteil über Terrain bis auf die Treppenhäuser in Holzbauweise ausgeführt. Bereits im Studienauftrag wurde diese Bauweise durch die Architekten vorgeschlagen. Stirnseitig sind die Häuser aus architektonischen Gründen durch eine massive, über alle Geschosse verlaufende Betonscheibe begrenzt. Als Deckenkonstruktion kommt ein Holz-Beton-Verbunddecken-System (HBV) zum Einsatz. Der Brettstapel an der Deckenuntersicht bleibt sichtbar, dadurch erübrigt sich eine aufwendige Verkleidung. Fassaden und Wände in einfacher Holzrahmenbauweise sind im Werk vorgefertigt und lassen sich, dank aussteifender OSB-Platte, auch in grossen Elementgrössen transportieren. Die Fassaden sind mit abwechselnd horizontalen und vertikalen Holzschalungen bekleidet. Eine grosse Herausforderung auf der Baustelle ist die Koordination der Baumeisterarbeiten (Untergeschosse, Treppenhäuser und die als Betonscheiben ausgeführten Stirnfassaden) mit dem ungleich präziseren Holzbau: Millimetergenau werden die Häuser ausgemessen und die Elemente entsprechend produziert.

Figur 8:
Schnitt durch die Fassade



Dachaufbau von aussen:
Substrat 100 mm
Abdichtungsbahn
Dämmung 200 mm
Dampfsperre
OSB 15 mm
Brettstapel 160 mm

Deckenaufbau von oben (über EG):
Bodenbelag 10 mm
Zementunterlagsboden 80 mm
Trittschalldämmung 2 x 20 mm
Holz-Beton-Verbunddecke:
Stahlbeton 100 – 120 mm
Brettstapel 100 – 120 mm

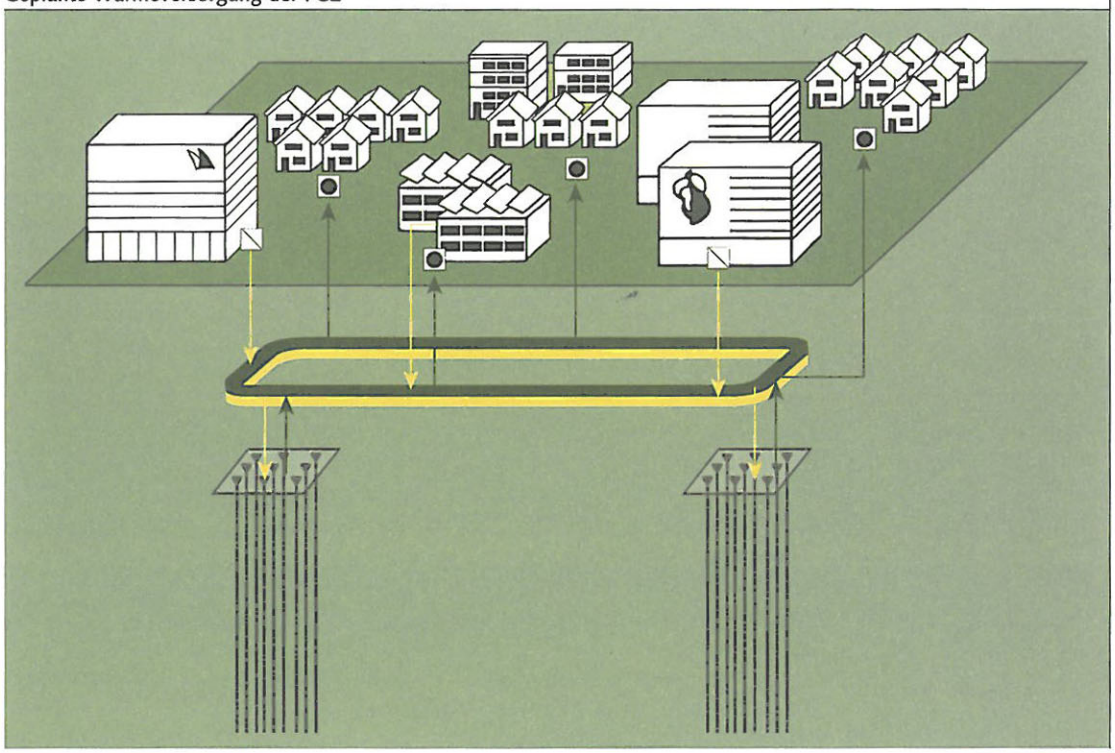
Aufbau Aussenwand von innen:
Gipskartonplatte 15 mm
OSB 15 mm, Stösse abgeklebt
Ständer 280 mm / Dämmung
Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte 15 mm
Fassadenbahn
Lattung 40 mm
Holzschalung 20 mm

Betrieb

Das Haus erreicht mit einer Mineralfaserdämmung von 280 mm an den Fassaden und 200 mm EPS-Dämmung auf den Dächern hervorragende U-Werte: 0,14 und 0,12 W/m²K. Mit dieser gut gedämmten Gebäudehülle wäre ein tiefer Wärmebedarf zu erwarten. Die Ausrichtung der Gebäude mit der Südseite gegen den Uetliberg führt aber zu nur kleinen solaren Gewinnen. Der Heizwärmebedarf bleibt knapp 15 % unter der gesetzlich erlaubten Vorgabe.

Das ganze Quartier der FGZ wird ab Sommer 2012 sukzessive mit einer Ringleitung mit Abwärme von umliegenden Grossbetrieben versorgt. Im Sommer wird deren überschüssige Abwärme in Erdspeicher eingelagert. Lokal wird diese dann in den kälteren Jahreszeiten mit Wärmepumpen auf die notwendige Temperatur angehoben. Fotovoltaikmodule auf den Dächern der Siedlung decken einen Teil des Strombedarfs. Für den notwendigen Luftwechsel in den Wohnungen sorgen Luftboxen in den Aussenwänden, welche die Luft zuführen; die Abluft wird zentral in den Nasszellen abgesogen.

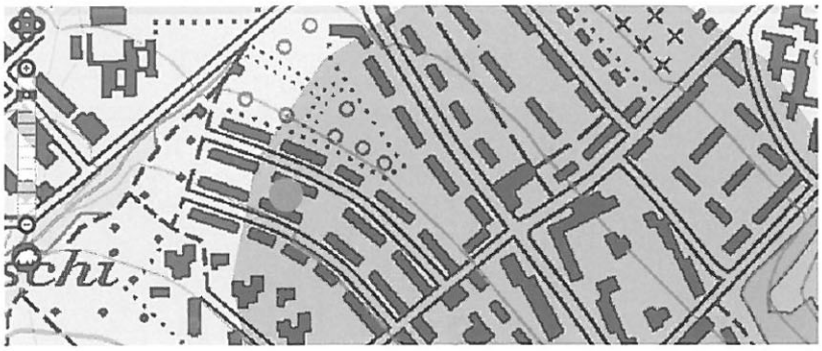
Geplante Wärmeversorgung der FGZ



Figur 9:
Die Abwärme umliegender Grossbetriebe wird in eine Ringleitung eingespeist und direkt genutzt oder, vor allem im Sommer, in Erdspeichern eingelagert. In den kälteren Monaten des Jahres kann die eingelagerte Wärme wieder bezogen werden. Quelle: Amstein + Walthert AG

Mobilität

Die Siedlung Grünmatt entsteht in der Kernstadt Zürich und ist mit dem öffentlichen Verkehr sehr gut erschlossen. Einkaufsmöglichkeiten finden sich in naher Gehdistanz. Dies sind gute Voraussetzungen für ein energieeffizientes Mobilitätsverhalten der Bewohnerinnen und Bewohner der Siedlung. Ein Wermutstropfen ist die grosse Anzahl Parkplätze, welche auf dem Areal erstellt werden müssen: Obwohl die FGZ das Minimum an Parkplätzen gemäss geltender Parkplatzverordnung erstellt, ergibt dies 0,85 Parkplätze pro Wohnung. Die grossflächige Tiefgarage ist nicht nur kosten- und ressourcenintensiv in der Erstellung, ein grosses Parkplatzangebot führt erfahrungsgemäss auch zu mehr Fahrzeughaltern. In der Stadt Zürich verfügen dank dem sehr gut ausgebauten öffentlichen Verkehr nur 42 % der Haushalte über ein eigenes Auto. Die FGZ geht denn auch davon aus, dass nicht alle Parkplätze vermietet werden können.



Figur 10:
Lage der Siedlung Grünmatt im Stadtkern von Zürich. öV-Güteklasse A gemäss http://map.are.admin.ch

Ort Grünmatt-, Baumhaldenstrasse, Zürich
Bauherrschaft FGZ Familienheim-Genossenschaft Zürich
Architektur Graber Pulver Architekten AG, Zürich
Bauingenieur Freihofer & Partner, Zürich
Holzbauingenieur Pirmin Jung Ingenieure für Holzbau AG, Rain
Gebäudetechnik Advens AG, Zürich und Amstein + Walthert AG, Zürich
Holzbau ARGE Blumer-Lehmann AG, Gossau, und Kost Holzbau AG, Küssnacht am Rigi
Baukosten BKP 2 CHF 62,45 Mio. (Gesamtprojekt inkl. Tiefgarage)
davon BKP 214 CHF 11,14 Mio. (Gesamtprojekt inkl. Tiefgarage)
Grundstücksfläche SIA 416 31 799 m² (Gesamtprojekt inkl. Tiefgarage)
Geschossfläche SIA 416 32 574 m² (Gesamtprojekt inkl. Tiefgarage), 27 400 m² (Gesamtprojekt), 1980 m² (Haus 4)
Energiebezugsfläche SIA 416/1 1667 m² (Haus 4)
Gebäudevolumen SIA 416 102 919 m³ (Gesamtprojekt inkl. Tiefgarage), 84 642 m³ (Gesamtprojekt), 5990 m³ (Haus 4)
Gebäudehüllzahl SIA 416/1 1,29 (Haus 4)
Kompaktheit (gesamte Gebäudehülle zu Geschossfläche) 1,40
Kubikmeterpreis SIA 416 (BKP2) CHF 607.–
Bauzeit Haus 4 2010 – 2012, ganze Siedlung bis 2014

Fussnoten der Figur 11, Seite 15

[14] Graue Energie wird nach kWp bemessen.
[15] Elektrische Hilfsenergie für Raumwärme und Warmwasser, bei Wärmepumpen bereits enthalten in der Leistungszahl ε.
[16] Der Bedarf für die Zirkulation im Anergienetz wird hier geschätzt.
[17] Wo in einem Minergie-Nachweis der Strombedarf der Lüftung angegeben wird, kann in einer ersten Phase auf diese Werte zurückgegriffen werden.
[18] Der Strombedarf der Luftboxen-Anlage wird hier geschätzt. Etwas besser als eine voll ausgebaute Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, welche im Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie› mit Standardwert Vorprojekt von 6 MJ/m² angegeben wird.
[19] Bei der Fotovoltaik wird der zu erwartende Jahresertrag eingesetzt. Aber nur, wenn ein Gebäude auch wirklich direkt beliefert wird und diese erneuerbare Elektrizität nicht beispielsweise über eine kostendeckende Einspeisevergütung KEV weiterverkauft wird. Sonst würde sie doppelt gezählt, weil ein anderer Haushalt diese Elektrizität wieder kaufen könnte. Zeiträume im Tagesablauf, bei denen überschüssige Photovoltaik-Elektrizität ins Netz geliefert und umgekehrt dafür zu einem anderen Zeitpunkt Elektrizität aus dem Netz bezogen wird, werden als Nullsummenspiel angesehen.
[20] Besucherparkplätze müssen nicht mitgerechnet werden.

Figur 11:
Die Systemgrenze bildet das ganze Gebäude plus einen Anteil an der Tiefgarage. Dieser liegt bei 10 % der gesamten Tiefgarage und ist damit proportional zur Geschossfläche des Hauses 4 an der gesamten Geschossfläche der Siedlung Grünmatt.

3.1.2 Gesamtbeurteilung nach Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie›

Berechnung der Primärenergie nicht-erneuerbar und der Treibhausgasemissionen von Haus 4, Grünmatt

Erstellung		Primärenergie nicht-erneuerbar [MJ/m²]	Treibhausgasemissionen [kg/m²]
Anteil Tiefgarage (10 %)	330 m² Bodenplatte, 330 m² Dach unter Terrain	11	0,9
Gebäude unter Terrain	480 m² Bodenplatte, 230 m² Betonwand gedämmt	13	1,1
Aussenwand	780 m² Holzrahmenbau, Holzschalung	6	0,3
	175 m² Betonscheiben, Innenwärmedämmung	2	0,2
Fenster, Balkone	314 m² 3-IV-Holzmetallfenster, 366 m² Balkone	19	1,4
Decken, Innenwände	990 m² Holz-Beton-Verbunddecken	5	0,4
	495 m² Betondecke	3	0,3
	1310 m² Innenwände (Beton, Leichtbau, Holz)	5	0,4
Dach	490 m² Brettstapel geneigt, Flachdachaufbau	19	1,1
Innenausbau	1480 m² Bodenbelag mit UB, 700 m² Gipsverkleidungen	17	1,2
Haustechnik	Anergienetz, Wärmepumpe Erdsonde, Elektro, Sanitär, Lüftung	23	1,5
Eigenproduktion	Fotovoltaik 24 kWp installierte Leistung auf Dach [14]	14	0,9
Total Erstellung		**137**	**9,7**
Richtwert Erstellung		110	8,5

Betrieb		ε_{SPF} [–]	Endenergie [MJ/m²]		
Heizwärme	Q_h = 101 MJ/m², Abwärme/Wärmepumpe	4,0	25	66	1,0
Warmwasser	Q_w = 50 MJ/m², Abwärme/Wärmepumpe	2,1	24	63	1,0
Hilfsenergie [15]	Anergienetz Abwärme [16]		2	5	0,1
Lüftung [17]	einfache Zu- und Abluftanlage [18]		4	11	0,2
Beleuchtung	Standardwert Vorprojekt gemäss SIA 2040		12	32	0,5
Betriebseinrichtungen	Standardwert Vorprojekt gemäss SIA 2040		25	66	1,0
Eigenproduktion	240 m² Fotovoltaik-Anlage auf Dach [19]		-62	-163	-2,6
Total Betrieb				**80**	**1,2**
Richtwert Betrieb				200	2,5

Mobilität		Korrekturfaktor		
Siedlungstyp	Kernstadt	1,0		
Gebäudestandort	sehr gut erschlossen, öV-Güteklasse Klasse A	5,0		
Verfügbarkeit Dauerabonnement	Schweizer Durchschnitt	0,25		
Personenwagenverfügbarkeit	Schweizer Durchschnitt	0,65		
Parkplätze pro Haushalt [20]	ca. 132 Parkplätze für 155 Haushalte	0,85		
Distanz zum Einkaufen in km	Coop, Schweighofstrasse	0,3		
Total Mobilität			**107**	**5,5**
Richtwert Mobilität			130	5,5

Gesamtbilanz		
Projektwert	**324**	**16,4**
Zielwert Wohnen / Neubau	440	16,5

Das Haus 4 der Siedlung Grünmatt erfüllt die beiden Zielwerte gemäss Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie› bei der nicht-erneuerbaren Primärenergie äusserst komfortabel, bei den Treibhausgasemissionen nur knapp. Diese Konstellation ist für Neubauten typisch. Die Reduktionsvorgabe gegenüber heute ist mit Faktor 4 bei den Treibhausgasemissionen deutlich schärfer als die Vorgabe bei der Primärenergie mit einem Reduktionsfaktor von 3.

Die Siedlung Grünmatt profitiert von den guten Standortbedingungen bei der Mobilität. Die Richtwerte werden in diesem Bereich, selbst mit der grossen Parkplatzzahl, ohne weitere Massnahmen eingehalten. Im Betrieb zeigt sich die Kombination einer Abwärmenutzung mit Wärmepumpen und einer Deckung des daraus entstehenden Strombedarfs mit eigens auf dem Dach produziertem Fotovoltaikstrom als zielführend: Die Projektwerte im Betrieb sind deutlich tiefer als die orientierenden Richtwerte. Der hohe Heizwärmebedarf von jährlich 101 MJ/m² ist einerseits auf das kleine beheizte Volumen mit der eher ungünstigen Gebäudehüllzahl (thermische Gebäudehüllfläche zu Energiebezugsfläche) von 1,29 zurückzuführen. Andererseits wird der Bedarf auch nicht durch das gewählte Lüftungssystem entlastet: Die Anlage verfügt zwar über eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft, diese wird aber dem Wärmebedarf für das Warmwasser zugewiesen, was aufgrund der deutlich höheren Temperaturen in diesem Verwendungszweck den Energiebedarf nur marginal zu senken vermag.

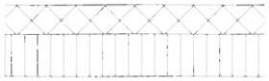
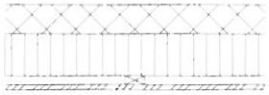
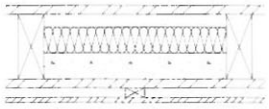
Bei der Erstellung liegen die Werte deutlich über den Richtwerten. Das liegt vor allem am kleinen Gebäudevolumen des betrachteten Hauses mit einer Kompaktheit (gesamte Gebäudehülle inkl. Anteil Tiefgarage zu Geschossfläche) von 1,40. Erschwerend kommt hinzu, dass von der insgesamt zu erstellenden Geschossfläche von 2260 m² (inkl. Tiefgaragenanteil) nur gerade 72 % als beheizte Fläche genutzt werden. Das ungünstige Verhältnis zwischen Geschossfläche und Energiebezugsfläche wirkt sich negativ aus, weil letztere die Bezugsgrösse für alle Berechnungen ist. Als geschickt und richtig erweist sich dagegen die Wahl der Bauweise. Insbesondere bei den Treibhausgasemissionen können dank der Holzbauweise die entscheidenden Einsparungen erzielt werden.

Das Haus 4 in der Siedlung Grünmatt ist mit vier Geschossen der grösste Gebäudetyp in der vierzeiligen Anlage. Es hat damit die besten Voraussetzungen, die Ziele zu erreichen. Trotz an sich kompakter Gebäudeform mit vorgesetzten Balkonen und ressourcenschonendem Holzbau dürften die kleineren Haustypen auf dem Gelände die Zielwerte nicht erreichen. Sie starten in einer äusserst schwierigen Ausgangslage: Kleine Volumen weisen immer ein ungünstiges Verhältnis zwischen Gebäudehüllfläche und Geschossfläche auf. In den ersten Phasen des Entwurfsprozesses kann mit wenig Aufwand sehr viel erreicht werden. Später das Ruder herumzureissen, ist nicht einfach, weil die grössten Einflussmöglichkeiten bereits vergeben sind. Klare Vorgaben des nachhaltigen Bauens beziehungsweise einer fortschrittlichen Energieeffizienz fehlten im Programm zum Studienauftrag bei der Siedlung Grünmatt – entsprechend war Energieeffizienz auch kein Kriterium im Auswahlverfahren. In der Projektierung waren erhebliche Aufwendungen notwendig, um eine gute Positionierung im Thema der Energieeffizienz im nachhinein zu erreichen. Dass nun die grössten Gebäudetypen innerhalb der Siedlung als 2000-Watt-kompatibel gemäss Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie› gelten dürfen, ist – gemessen an der schwierigen Ausgangslage – ein grosser Erfolg.

3.1.3 Exkurs: Decken

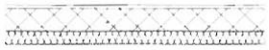
Als gute Lösung zeigen sich an diesem Bau die von unten sichtbaren Holz-Beton-Verbunddecken. Auch wenn es überraschen mag: Die Einsparung an Grauer Energie und Treibhausgasemissionen einer einfachen Bekleidung einer Holzkonstruktion lässt sich – wenn man nur den Quadratmeter Bauteil betrachtet – sehen. Als Vergleich sind hier die klassische Betondecke, die Holz-Beton-Verbunddecke ohne und mit unterer Bekleidung und eine Kastendecke mit unterer Bekleidung einander gegenübergestellt:

Figur 12: Graue Energie und Treibhausgasemissionen von vier Rohdeckenkonstruktionen (Herstellung und Entsorgung, nicht amortisiert), gerechnet mit Grisli [21]

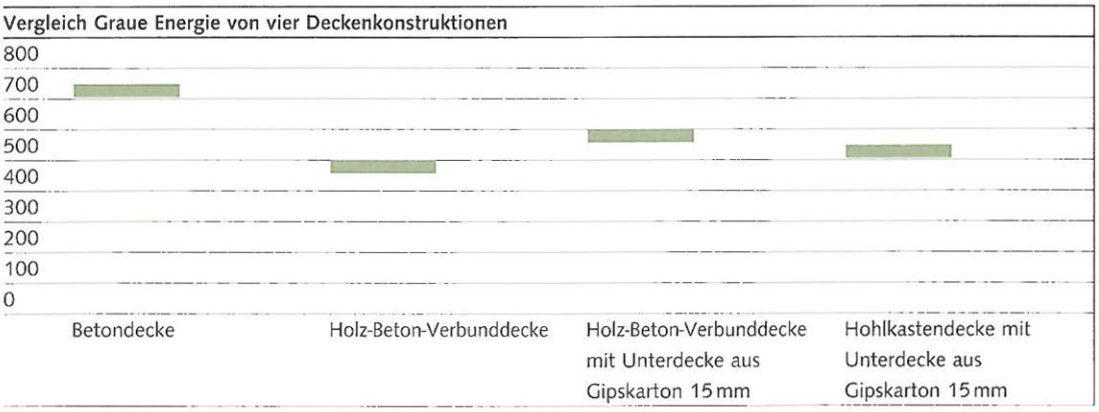
Vergleich von vier typischen Deckenkonstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau		Graue Energie [MJ/m²]	Treibhausgasemissionen [kg/m²]
	Betondecke CEM II 300 kg/m³, Bewehrung 90 kg/m³, Untersicht mit Deckenputz und Anstrich, Gesamtstärke 240 mm	762	75,9
	**Holz-Beton-Verbunddecke** Brettstapel 130 mm, Beton 90 mm, Bewehrung 2,7 kg/m², Untersicht mit Anstrich, Gesamtstärke 220 mm	494	40,4
	**Holz-Beton-Verbunddecke** Brettstapel 130 mm, Beton 90 mm, Bewehrung 2,7 kg/m², biegeweiche Unterdecke Gipskarton 15 mm, verputzt und gestrichen, Gesamtstärke 260 mm	606	47,6
	**Kastendecke mit Beschwerung** Beplankung mit Dreischichtplatten 27 mm, Hohlraumbedämpfung/Beschwerung 80 kg/m², biegeweiche Unterdecke Gipskarton 15 mm, verputzt und gestrichen, Gesamtstärke 300 mm	550	32,8

Rohdecken werden in der Regel mit einem Bodenaufbau mit Trittschalldämmung und Fliessestrich ergänzt. Um eine Grössenordnung für den – bei allen Decken in etwa gleichen – Aufbau zu erhalten, ist in Figur 13 ein typischer Bodenaufbau dargestellt:

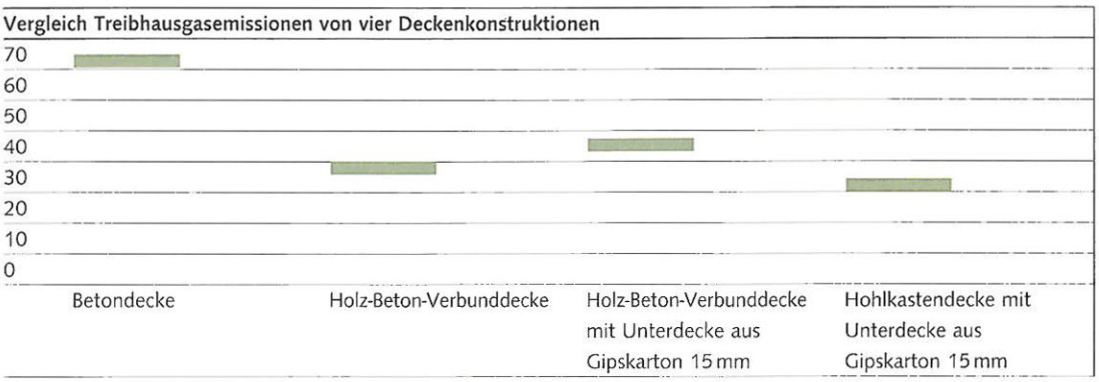
Figur 13: Graue Energie und Treibhausgasemission eines typischen Boder aufbaus (Herstellung und Entsorgung, nicht amortisiert), gerechnet mit Grisli

Typischer Bodenaufbau bei mehrgeschossigen Holzbauten			
	**Bodenaufbau (für alle vier Decken identisch)** Trittschalldämmung 40 mm, Unterlagsboden 70 mm, Bodenbelag Parkett 10 mm	493 MJ/m²	35,3 kg/m²

Figur 14:
Graue Energie in MJ bezogen auf den m² Bauteilfläche von vier Rohdeckenkonstruktionen (Herstellung und Entsorgung, nicht amortisiert), gerechnet mit Grisli



Figur 15:
Treibhausgasemissionen in kg bezogen auf den m² Bauteilfläche von vier Rohdeckenkonstruktionen (Herstellung und Entsorgung, nicht amortisiert), gerechnet mit Grisli



Das Weglassen der unteren Bekleidung vermindert bei der Holz-Beton-Verbunddecke den Wert bei den Treibhausgasemissionen um rund 15%. Diese scheinbar einfache Massnahme bedingt im Bauablauf aber einen Mehraufwand, wie das Beispiel ‹Grünmatt› zeigt. So muss die Unterseite der Brettstapel sauber gehobelt sein, damit keine Überzähne den ruhigen Eindruck der Decke stören. In der Siedlung ‹Grünmatt› wird die Untersicht weiss lasiert. In der Zeitspanne bis zum Anstrich müssen die Räume sorgfältig abgedunkelt werden, um Verfärbungen durch direkte Sonnenbestrahlung auf dem Holz zu verhindern.

Die Unterschiede in den Werten der verschiedenen Deckenkonstruktionen sind in diesem Vergleich recht gross. Dies soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Deckenkonstruktion in der Bilanz der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen eines gesamten Gebäudes nur 3–7% ausmachen. Es sei hier daran erinnert, dass die Werte gemäss Merkblatt SIA 2040 ‹SIA-Effizienzpfad Energie› auf die Energiebezugsfläche bezogen und amortisiert, d.h. durch die jeweilige Amortisationszeit der Konstruktionen geteilt, betrachtet werden. Innere Verkleidungen wie die erwähnten Deckenverkleidungen werden gemäss Merkblatt SIA 2032 ‹Graue Energie von Gebäuden› mit einer Amortisationszeit von 30 Jahren eingesetzt, die tragende Deckenkonstruktion hingegen mit 60 Jahren. Es wird also damit gerechnet, dass Deckenverkleidungen während der Nutzungsdauer der tragenden Deckenkonstruktion einmal erneuert werden.

Am Beispiel ‹Grünmatt› lässt sich damit zudem exemplarisch aufzeigen, wie unterschiedliche projektspezifische Rahmenbedingungen das Gesamtresultat beeinflussen. Die grosse Tiefgarage, welche in der Siedlung erstellt wird, belastet das Resultat im Bereich ‹Erstellung› stark: rund 10% der gesamten Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen gehen auf deren Konto. Auch im Bereich ‹Mobilität› verschlechtert sich die Bilanz durch die relativ hohe Parkplatzzahl. Um die Zielwerte trotzdem zu erreichen, sind Kompensationen in den anderen Bereichen notwendig. Die Wahl von Holz-Beton-Verbunddecken leistet hier einen Beitrag. Auf das Bauteil bezogen ist dieser Beitrag (Reduktion um fast 40% gegenüber Betondecke) bedeutend. Auf das gesamte Gebäude bezogen verringert sich das Resultat im Bereich ‹Erstellung› dank der Holz-Beton-Verbunddecken immerhin noch um 1% bei der grauen Energie und 3% bei den Treibhausgasemissonen. Diese Verbesserung gegenüber einer klassischen Betondecke scheint klein. Dass solche marginalen Veränderungen aber entscheidend sein können, zeigt das gewählte Beispiel: Das Haus 4 der Siedlung ‹Grünmatt› würde mit Betondecken den Zielwert der Treibhausgasemissionen verfehlen.

[21] Grisli, Instrument zur Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen von ganzen Gebäuden oder Bauteilen, http://www.grisli.net