
Abstrakt

In der Republika Srpska sind zur Zeit 40% Waldflächen(1), die Arbeitslosigkeit von 39%(2) und viele Wohngebäuden, deren Fassaden saniert werden sollten. Einfach gesagt, der Stand der Wirtschaft ist schlecht. Aus diesen Fakten ist eine Idee entstanden, dass die Entwicklung von Fassadenelementen aus Holz das Ganze bewegen konnte. Mit der inländischen Produktion von Fassadenelementen aus Holz würde der eigene Rohstoff verwendet, würden die neuen Fabriken eröffnet werden (viele neue Arbeitsplätze) und würde sich die Möglichkeiten der billigen Sanierung der bestehenden Fassaden eröffnen. Solche Bewegungen würden wieder die gute Stimmung in der Bevölkerung sowie wahrscheinlich die neuen Investitionen bringen. Die Stadt Banja Luka hat sich verpflichtet, die CO2 Emission zu senken. Mit der Verwendung von Holz als Hauptmaterial für die Fassadensanierungen sind die grossen Senkungen bei CO2 Emission möglich.

Mit dieser Arbeit möchte ich auf der Basis eines Beispiels des Wohngebäudes in meinem derzeitigen Wohnort Banja Luka ein effizientes und einfaches System für die Sanierungen der Gebäudehülle darstellen. In der Hintergrund der "REinventing the skin" steht ein grosser Anzahl von Gebäudesimulationen, deren Ergebnisse als Entscheidungstreffer beim Auswahl von verschiedenen Details dienen sollen. Die Energieeinsparungen bei einzelnen Systemtypen sowie die Investitionskosten werden untersucht und diese werden zeigen, ob das Systemtyp wirtschaftlich oder doch nicht ist. Es wird sich ergeben, dass die teuersten Investitionen in der Kombination mit dem bestimmten haustechnischen System nicht wirklich wirtschaftlich sind. Da es um den Umbau des sozialen Wohnungsbaus geht und da verschiedene Benutzer sind, wurden mehrere Systemtypen für die verschiedenen "Levels" untersucht.

Die Verhältnisse zwischen der Gebäudehülle bzw. den einzelnen Fassadenelementen (Plug-and-Play) und seiner Umgebung sowie der Klimadaten des Ortes werden untersucht und diese Ergebnisse werden als Parameter für die Fassadengestaltung genutzt. Die Fassadenelemente werden als vorfertigte Teile in Holzrahmenbauweisen ausgeführt werden.

Einführung

Wenn ich mich über das Thema des Umbaus der Gebäudehülle überlegt habe, sind immer folgende Fragen aufgetaucht: wieso könnte man die bestehende Arbeitsweise mit dem VWDS (Vollwärmesystem) umändern, kann man die vorfabrizierten Elemente entwickeln, kann man die Montagezeit reduzieren, kann man ein System entwickeln und die Vorteile der Vorfabrizierung nutzen, kann man die Naturbaustoffe nutzen!? Ich habe dann einen Vergleich zwischen Österreich und Bosnien gemacht. In Österreich gibt es schön ein paar Systemen in der Holzbauweise: "cree"(3), "gap"(4), "tes"(5). In Bosnien sind im Angebot nur ein paar einfaches vorfabrizierte Einfamilienhäuser zu finden. Der Waldanteil an der Bundesfläche in Österreich ist 48%(6) und in Bosnien 40%(1). In Österreich wird das Holz auch viel in dem Bauen genutzt und in Bosnien wird grösstenteils einfach als Rohstoff exportiert. Da habe ich eine Gelegenheit gesehen. Die vorfabrizierten Fassadenelemente aus Holz sind die Lösung, die viele Fragen beantworten können, sowie viele andere Sachen/Bereiche bewegen können.

Bauen mit Holz ist aktiver Klimaschutz

"Bauen mit Holz ermöglicht, über die drei Lebenszyklen-Phasen eines Gebäudes (Produktion, Nutzung, Rückbau) die CO2-Bilanz gering zu halten: Bereits in der Produktionsphase, die die Gewinnung, Produktion und den Transport zur Baustelle umfasst, ist der Energieaufwand (graue Energie) weitaus geringer als bei der Verwendung von CO2-intensiven Materialien, wie Ziegel, Beton oder Aluminium. Holz ist das

Baumaterial, das zu seiner Herstellung die geringste Energie braucht und damit den niedrigsten CO₂-Ausstoß verzeichnet.

Wird mit Holz gebaut, entsteht in unseren Städten und Dörfern ein „zweiter Wald“ und damit ein beträchtlicher Kohlenstoffspeicher, der die Umwelt entlastet. Denn jeder Kubikmeter verbautes Holz speichert den Kohlenstoff aus einer Tonne CO₂ und substituiert zudem CO₂ aus den meist energieaufwändig hergestellten, nicht nachwachsenden Baustoffen, die ansonsten zum Einsatz gekommen wären. 1 Quadratmeter Außenwandaufbau in Massivholz beispielsweise erspart ungefähr jene Menge CO₂, die ein vergleichbarer Wandaufbau aus Beton im Gegenzug verursachen würde.”(7)

Banja Luka

Der Name Banja Luka wurde zum ersten Mal in einer Urkunde des ungarischen Königs im Jahr 1494 erwähnt. Der Name besteht aus zwei Teilen Banja (stammt vom alten Wort "banj" - Ban / Herrscher) und Luka (vom alten Wort "luka" - Ebene), zusammengefasst "Banova ravnica" (Bans Ebene).

Dieses Gebiet um den Fluss Vrbas ist nach dem Fall des Römischen Reiches von slawischen Stämmen besiedelt worden. Danach ist in der mittelalterlichen Zeit ist eine Reihe von Festungen entstanden.

Nach der Ankunft der Osmanen 1582 entwickelte sich die erste Siedlung der orientalischen Art um die Kaiser "Mahala"(8) in Gornji Seher. Danach ist zur schnellen Entwicklung der Stadt gekommen und viele Mühlen und Brücken sind entstanden.

Nach dem Beschluss des Berliner Kongresses im Jahr 1878 sind in Banja Luka die österreichisch-ungarischen Truppen reingekommen und nach diesem Zeitpunkt hat sich Banja Luka in ein Handels- und Industriezentrum entwickelt.

Nach dem ersten Weltkrieg erlebte die Stadt die Befreiung von der fremden Herrschaft. Der rasche Fortschritt der Stadt ist im Königreich Jugoslawien passiert. Dank des Bans Svetislav Milosavljevic hat Banja Luka im Zeitraum von 1929 bis 1934 viele neue Gebäuden, die noch heute das erkennbare Gesicht der Stadt darstellen, bekommen.

Am 27.11.1969 um 9:11 Uhr hat die Stadt am Vrbas ein Erdbeben getroffen. Die gesamte Stadt war vom Erdbeben verwüstet. 15 Einwohner wurden getötet und 1.117 schwer oder leicht verletzt worden und ist 86.000 Wohnungen sind völlig zerstört.

Laut Volkszählung aus dem Jahr 1991 hatte Banja Luka vor dem Krieg hat 150.000 Einwohner und laut aktueller Volkszählung aus 2013 hat die Stadt 199.191 Einwohner.(9)

Die Geographie und das Klima

Banja Luka befindet sich im Nordwesten von Bosnien und Herzegowina und liegt an den Ufern des Flusses Vrbas. Die Stadt liegt in einer Grube und ist mit den Bergen von der Süd-, Ost- und Westseite umrandet, aber von der Nordseite ist die Landschaft eher flach. Das Zentrum der Stadt befindet sich auf einer Höhe von 164 Meter über Adria. Das Klima ist gemäßigt kontinental mit der mittleren jährlichen Temperatur von 10,7°C. Die mittlere Temperatur für Jänner ist 0,8°C und für Juli 21,3°C. (10) In den letzten 4-5 Jahren kommen die Temperaturen im Sommer oft bis 38°C.

Die Wälder

Republik Srpska erstreckt sich auf der Fläche von 24.857 km². Davon ist die Waldfläche 1.000.044 ha (10.000,44km²). Das heisst, dass die 40% von der gesamten Fläche bewaldet ist, was ein grosser Reichtum ist. Laut der Statistik von "Sume Republike Srpske" (die Wälder der Republik Srpska) sind die größten Flächen der Wälder die gemischten Wälder (32%), danach Buchenholzwälder (28%), Fichte (25%), Eichenholz (11%) und Kiefer (4%). (11)

Das Wohngebäude

Das ausgewählte Wohngebäude befindet sich im Zentrum von Banja Luka und ist ein 5-geschossiges Wohngebäude mit den Geschäften im Erdgeschoss und Lagerräumen im Untergeschoss. Das Gebäude ist ein Teil eines Komplexes von 5 Wohngebäuden. Es wurde vom Architekturbüro "Bartolic" aus Zagreb (Kroatien) im Jahr 1959 geplant und im Jahr 1960/1961 ausgeführt worden.

Die Abmessungen des Gebäudes sind 39,50m x 10,50m x 18,28m und ist in einem Fassadenraster von 3,90x2,80 m geplant. In jedem Obergeschoss befindet sich 6 Zweizimmerwohnungen mit einer durchschnittlichen Bruttogeschossfläche von 69,13m² pro Wohnung. Im Gebäude unterscheiden sich drei Typen von Wohnungen: 1. Wohnung mit 2 Schlafzimmern, einem Wohnzimmer und einer Küche mit dem Esszimmer - Nettogröße von 41,90m², 2. Wohnung mit 2 Schlafzimmern, einem Vorraum und einer Küche mit einem Esszimmer - Nettogröße von 39,14m², 3. Wohnung mit 2 Schlafzimmern und einer Küche mit einem Esszimmer - Nettogröße von 41,50m²,

Die Geschosshöhe von Obergeschossen ist 2,80m, vom Erdgeschoss 3,55m und vom Untergeschoss 2,50m. Der Anteil der Fenster ist auf Hauptfassaden (Südost- und Nordwestfassade) 37%, auf Südwestfassade 15% und auf Nordostfassade gibt es keine Fenster.(12)

Konstruktion

Die Aussenwände und die Innenwände sind aus Vollziegel ausgeführt worden. Die Dicke der Aussenwänden ist 25cm (der Giebelwände 38cm), der tragenden Innenwände ist 25cm und nichttragenden 7cm. Die Fundamente sind aus Beton ausgeführt worden. Die tragenden Geschossdecken sind aus Stahlbeton mit einer Dicke von 20cm ausgeführt worden. Der Fussbodenaufbau besteht aus dem Parkett (9mm), das auf eine Betonschicht (3cm) geklebt ist, und einer Schallschüttschicht. (13)

Orientierung und Umgebung

Die Orientierung der längeren Fassaden ist Südost bzw. Nordwest. Die Südostfassade ist die repräsentativste Fassade des Gebäudes. Nördlich von dem Gebäude befindet sich ein Park, der im Zentrum des Wohnkomplexes liegt und macht die Verschattungen auf Nordwestfassade. Die umliegenden Bäume machen die Verschattungen auf Nordost- und teilweise auf Südostfassade. Die umliegenden Gebäuden auf der Südseite haben eine Höhe von 26,2m und eine Entfernung von ca. 32m, auf der Nordseite eine Höhe von 18,28m und eine Entfernung von ca. 56m, auf der Ostseite eine Höhe von 37,6m und eine Entfernung von ca. 35m und auf der Westseite eine Höhe von 8m und eine Entfernung von ca. 20m. Die Verschattungen von umliegenden Gebäuden sind in den Abbildungen 22, 23, 24 und 25 dargestellt.

Die wichtigste Blickstandorte an das Gebäude stammen aus der Kreuzung, die sich östlich von Gebäude befindet und aus der Wohnstrasse, die sich südlich von Gebäude befindet.

Die umliegende Bäume befindet sich gegen SO und NO Fassade mit der Höhe von ca. 14m und gegen NW Fassade mit der Höhe von ca. 18m. Die Bäume machen die Verschattungen an jeweilige Fassaden.

Die Hauptstrasse "Bulevar cara Dusana" befindet sich östlich von dem Gebäude, gegen NO Fassade. Der Lärm vom Verkehr auf dieser Strasse macht keine Auswirkungen auf diese Fassade, weil da keine Fenster gibt. Die Strassen auf Süd- und Westseiten (gegen SO und SW Fassade) sind die Strassen mit niedrigem Verkehr (Wohnstrassen).

Fassadenelemente

Für die Sanierungen bzw. dem Umbau der Außenhülle des Gebäudes werden die vorfabrizierten Fassadenelemente aus Holz entwickelt, die sich an den bestehenden Außenwände anhängen lassen. Die Befestigung wird mittels einer Stahlkonsole durchgeführt werden und die Lasten werden über die bestehende Konstruktion übertragen werden. Das Fassadenelement kann in die "Performance-" und "Design-Ebene" geteilt werden. Die "Performance-Ebene" hat die Priorität, um gute bauphysikalische und energetische Eigenschaften zu ermöglichen und die "Design-Ebene" schafft eine gute Wahrnehmung der Fassade bzw. Gebäudes.

Die Holzrahmenkonstruktion mit verschiedener Dämmstärke von Glaswolle (120, 160, 200 und 240mm) als die Füllungen zwischen den Holzrahmen ist eine Grundlage für alle Levels. Die Schichten in dem "Performance" Teil sind folgende:

("Design" Ebene - Verkleidung)

 15mm OSB Platte
 120-240mm Glaswolle (Varianten)
 15mm OSB Platte
 Dampfbremse
 40mm Glaswolle zwischen 40/40mm Holzlattungen.

(bestehende Wand)

Die Bezeichnungen, die für verschiedene Varianten von Dämmstärken genützt werden, sind z.B. SYS120 für ein System mit der Dämmstärke von 120mm, SYS160 für ein System mit der Dämmstärke von 160mm und so weiter.

Die U-Werte von einzelnen Varianten sind: (14)

SYS120: U-Wert=0,21 W/m²K
 SYS160: U-Wert=0,17 W/m²K
 SYS200: U-Wert=0,15 W/m²K
 SYS240: U-Wert=0,13 W/m²K

Mit diesen Systemen können Fenster mit folgenden Eigenschaften kombiniert werden: (15)

FE150 (2-fache Verglasung):
 U-Wert= 1,50 W/m²K
 g-Wert= 0,72
 Lichttransmission: 0,75
 FE110 (2-fache Verglasung):
 U-Wert= 1,10 W/m²K
 g-Wert= 0,61
 Lichttransmission: 0,80
 FE080 (3-fache Verglasung):
 U-Wert= 0,80 W/m²K
 g-Wert= 0,56
 Lichttransmission: 0,73

Von Massen und Positionen her, können sich die folgenden Elemente unterscheiden:

Regelelemente (3,90x2,80m, 37% Verglasung),
 Regelelemente beim Stiegenhäuser (3,90x2,80m, 24% Verglasung),
 Elemente an der Giebelwand mit Fenster (10,20x2,80m, 15% Verglasung),
 Elemente an der Giebelwand ohne Fenster (10,20x2,80m, 0% Verglasung),
 Attikaelemente (Umriss x Höhe von 0,645m, 0% Verglasung),
 Portale im Erdgeschoss (3,90x3,6m, 93% Verglasung).

Level00 - Grundsystem

Beim Grundsystem ist möglich, verschiedene Kombinationen der Dicken der Elemente und Fenster zu machen und wird mit der bestehenden Heizung bzw. Fernwärme genutzt. Das Ziel dieses Systems ist die Senkung der Energieverluste und die Einsparungen von Energiekosten bzw. Heizungskosten. Natürlich kriegt das Gebäude auf diesem Level, sowie auf allen anderen eine neue Gestaltung der Hülle.

Level01 - System mit dezentralen Lüftungsgeräten

Das Grundsystem wird weiterentwickelt. In SYS240 wird ein Lüftungsgerät mit Heiz- und Kühlfunktion sowie mit mechanischer Lüftung eingebaut. "Mit dezentralen Lüftungsgeräten lässt sich die Lüftung über die Fassade unabhängig von den Witterungsbedingungen weitgehend sicherstellen. Zum einen ist der Luftwechsel definierbar, zum anderen kann die Zuluft im Winter vorgewärmt und im Sommer vorgekühlt."(16)

Das System wird mit Strom versorgen. Bei diesem System wird die Heizung über die Fernwärme ausgeschaltet werden.

Auf Level01 mit einem SYS240 können alle drei Fenstertypen (wie im Grundsystem FE150, FE110 und FE080) kombinieren werden.

Mit Systemen auf Level01 kommt die Möglichkeit, alle "schrecklichen" Klimageräte, die sehr populär in den letzten Jahren (bei Neubau sowie bei alten Häusern) in unserer Stadt sind, von der Fassade zu entfernen.

Level02 - System mit dezentralen Lüftungsgeräten und Photovoltaikanlagen

Auf Level02 wird noch eigene Antriebsenergie für das fassadenintegrierte dezentrale haustechnische System (Heizung, Kühlung und mechanische Lüftung) hinzugefügt. Es wird untersucht, auf welche Fläche (Fassade oder Dach) ist optimal eine Photovoltaikanlage zu stellen. Das ganze System sollte die grössten Einsparungen bringen und die Energieversorgung des Gebäudes (wenn es um Klimatisierung geht) unabhängig machen. Der Vorteil Der Nachteil dieses Systems sind die hohen Investitionskosten.

Nutzungsdauer

Nutzungsdauer der Fassadenverkleidungen aus Holz ist für waagrechte Verkleidungen 15-35 Jahre und für die senkrechten 20-50 Jahre. Als ein Vergleich mit der Verkleidung aus Holz die Nutzungsdauer für folgende Materialien betragen:

Blech beschichtet 15-30 Jahre,
Blech als Sandwichelement 20-40 Jahre,
Glas 30 Jahre,
Kunststoff 30-50 Jahre,
Betonplatte 40-60 Jahre. (17)

Investitionskosten

Die Fassade des Gebäudes ist geteilt nach Regelementen, Regelementen beim Stiegenhäusern, Elementen an der Giebelwand mit Fenster, Elementen an der Giebelwand ohne Fenster, Attikaelementen, Fenstern im Obergeschoss und die Portalen im Erdgeschoss. Für jedes Element werden die einzelne Stücke (z.B. Holzträger, Dämmung, Holzlatten...) mit den Preisen hingelegt und die Kostenblätter erstellt.

In der Abbildung 34 ist die Kostenermittlung für das Regelement des System S240_FE150 dargestellt und in der Abbildung 35 ist die Kostenermittlung für die S240 Reihe aus dem Level00 dargestellt.

In der Abbildung 36 sind die Investitionskosten für einzelne Systeme und Levels dargestellt.

Bei den Kosten von einzelnen Systemen auf Level0 sieht man grosse Unterschiede abhängig vom Fenstertyp bzw. Fenster U-Wert. Um ein System für das ganze Gebäude mit dem Fenster U-Wert von 1,50 W/m²-K sind die Investitionskosten rund um EUR 125.000,--, mit dem Fenster U-Wert von 1,10 W/m²-K sind rund um EUR 225.000,-- EUR und mit dem Fenster U-Wert von 0,80 W/m²-K sind rund um EUR 300.000,--. Die Kosten für die Systeme auf Level01 steigen linear von EUR 175.000,— bis EUR 350.000,— und auf Level02 von EUR 250.000,— bis EUR 425.000,—.

Die grosse Senkung der Kosten der Photovoltaikanlagen in den letzten fünf Jahren ist in der Abbildung 33 dargestellt.

Graue Energie

“Die Graue Energie ist der kumulierte Aufwand an energetischen Rohstoffen, die erforderlich sind um ein Produkt oder eine Leistung an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Er umfasst alle vorgelagerten Prozesse bis zum Rohstoffabbau (Primärenergie) und setzt eine Stoffbuchhaltung dieser Prozesse voraus.“ (18)

Bei der Herstellung von einem Regelement SYS240_FE150 wird 2.348 MJ graue Energie gebraucht und davon entfällt 68% auf die Fenster (s. Abbildung 34).

Die graue Energie bei der Herstellung aller Systeme befindet sich im Bereich von 450.000 MJ. Die grössten Teile der graue Energie auf den Fenstern und Portalen entfallen und für diese Bauteile wird die graue Energie über die Fläche und nicht über die Masse gerechnet. Deswegen ist der Unterschied zwischen Systemen so klein.

Um noch einen Vorteil des Systems aus Holzelementen anzuzeigen, ist ein Vergleich von Herstellungsenergie (graue Energie) zwischen dem System aus Holzelementen mit Glaswolle als Dämmstoff und dem VWDS (Vollwärmedämmsystem) mit dem EPS als Dämmstoff durchgeführt worden. In den Ergebnissen ist deutlich erkennbar, dass für die Herstellung des Systems aus Holzelementen fast doppelt so weniger Energie verbraucht wird. Bei diesem Vergleich sind nur die opake Flächen (ohne Fenster) betrachtet.

Methoden

Energiesimulation

Um die Energieverluste bzw. Energieeinsparungen auswerten und vergleichen zu können sind für jedes System und jedes Level die Gebäudesimulationen durchgeführt worden. Die Gebäudesimulationen sind in DesignBuilder v3.2 (Rechnerkern: EnergyPlus v7.2) ausgeführt worden.

Für die Gebäudesimulation sind die Werte und Zeiträume aus ÖNORM B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau angenommen. Laut dieser Norm sind die internen Lasten mit 3,75 W/m², Warmwasser mit 35Wh/m²-d alle 24 Stunden und 365 Tage zu simulieren. Der mindeste Luftwechsel für ein Wohngebäude ist 0,40 ac/h (Luftwechsel pro Stunde).

Undichtheit der Konstruktion ist beim Bestand n-50: 3ac/h (Luftwechsel bei einem Druck von 50 Pa) und bei der sanierten Konstruktion (n-50): 1 ac/h.(19)

Das bestehende Wohngebäude hat die folgenden U-Werte:

Außenwände: U-Wert= 1,59 W/m²K

Dach: U-Wert= 0,57 W/m²K

Fußboden gegen unbeheizt: U-Wert= 0,60 W/m²K

Fenster:

U-Wert= 3,15 W/m²K
g-Wert= 0,76
Lichttransmission: 0,80

Bei der Gebäudesimulation ist auch die Sanierung vom Dach sowie des Fußbodens gegen unbeheizt (Untergeschoss) eingerechnet. Das sanierte Dach hat eine U-Wert von 0,11 W/m²K und Fußboden gegen unbeheizt 0,19 W/m²K.

Die Simulationen sind für folgende Systemen durchgeführt:

Level00:

SYS120_FE150
SYS120_FE110
SYS120_FE080
SYS160_FE150
SYS160_FE110
SYS160_FE080
SYS200_FE150
SYS200_FE110
SYS200_FE080
SYS240_FE150
SYS240_FE110
SYS240_FE080

Level01:

SYS240_FE150
SYS240_FE110
SYS240_FE080

Level02:

SYS240_FE150
SYS240_FE110
SYS240_FE080

Energie der Sonne

Für das Level02 ist eine Nutzung von solaren Einstrahlungen als Antriebsenergie für das haustechnische System geplant. Es werden die Fassaden- und Dachflächen untersucht werden, um zu finden, welche Flächen die optimalste für eine Photovoltaikanlage sind. Die direkte und diffuse Einstrahlungen sind aus dem Programm DesignBuilder angenommen. Die Quelle für die Wetterdatei ist IWEC (International Weather for Energy Calculations).(20)

Plug-and-Play Element

Jedes einzelne Element sollte die Umgebung analysieren und aus dieser Analyse sollte sich die Außenhülle des Gebäudes als neue gestalten lassen - REinventing the skin. Das System konnte sich auch Plug-and-Play nennen.

Die folgenden Parameter werden untersucht und analysiert:

- solare Einstrahlungen auf die Verglasung
(welche Menge in kWh wird auf die Fensteraußenfläche eingefallen, da werden die direkte sowie diffuse solare Einstrahlungen betrachtet)
- Tageslichtfaktoren in Räumen
(die durchschnittlichen Tageslichtfaktoren für einzelne Räume)
- Verschattungswinkel von umliegenden Objekten
(jedes einzelne Element wird die Objekte sowie die Bäume, die sich vor ihm finden, analysiert und diese Analyse wird in dem Winkel gespeichert. Da kommen die Winkel für die

horizontalen und die vertikalen Verschattungen. Das sind die Winkel, die für die Umrechnung der Verschattungsfaktoren laut ÖNORM B8110-6 gebraucht sind.)(s. Abbildungen 41-45))

Die grösseren Fassaden (Südost und Nordwest) werden in 10 Felder in horizontaler Richtung und 5 Felder in vertikaler Richtung (1 Feld pro Geschoß) geteilt und genannte Parameter werden für einzelne Felder analysiert.

Die kleineren Fassaden (Südwest und Nordost) werden auf 1 Feld in horizontaler Richtung und 5 Felder in vertikaler Richtung (1 Feld pro Geschoß) geteilt.

Das Ziel ist möglichst unterschiedliche Werte zu kriegen, die weiter als die Parameter für das Fassadenmuster verwendet werden können.

Die Elemente, die für das Fassadenmuster verwendet werden, sind die Latten. Das Muster wird sich aus folgenden Parametern rausgeben:

- Abstand zwischen den Latten in horizontaler und/oder vertikaler Richtung
- Tiefe der Latten
- Auskragungen der jeweiligen Punkte, die Halterungspunkte für die Krümmung der Latten sind (gebogene Latten werden als eine Variante kommen)

Die folgenden Varianten des Musters sind untersucht:

M01: die Fassadenelemente werden als einzelne Felder betrachtet und die ausgewählten Parameter werden zu diesen Feldern zugeordnet. In dieser Variante kommen die Sprünge zwischen den verschiedenen Bereichen. Als Parameter für das Muster sind die Abstände in horizontaler und vertikaler Richtung, sowie die Tiefe der Latten genutzt.

M02: die Parameter werden zu einzelnen Feldern zugeordnet, aber die Fassade wird als eine Gesamfläche betrachtet und einzelne Werte der Parameter beziehen sich auf die ganze Fassadenfläche. In dieser Variante werden die steigende Abstände zwischen den Latten in horizontaler Richtung als Parameter für das Muster genutzt.

M03: diese Variante bezieht sich wie die M02 auf die ganze Fassadenfläche, nun die Latten eine gebogene Seite haben. Die gebogene Seite bzw. Linie ergibt sich durch die Auskrägung der jeweiligen Kontrollpunkte (ein Punkt pro Fassadenelement).

Die angenommenen Parameter sind mittels Dynamo (21) (visual programming) in Autodesk Revit in Muster übertragen.

Ergebnisse

Energieverluste

Die Energieverluste zwischen dem Bestand und einzelnen Systemen sind in der Abbildung 47 dargestellt. Die grössten Verluste beim Bestandsgebäude entstehen durch Verglasung, danach durch Außenwände und natürliche Lüftung. Bei den anderen Systemen auf Level00 passieren die grössten Verluste durch die natürliche Lüftung (laut ÖNORM ist ein mindester Luftwechsel von 0,4 ac/h zu erhalten(19)). Bei den anderen Systemen sieht man die Unterschiede beim verschiedenen Fenstertypen mit verschiedenen U-Werten. Die Verluste durch die Wände, Dächer und Undichtheit der Konstruktion befinden sich in gleichem Bereich. Die Senkungen der Gesamtverluste auf Level00 befinden sich im Bereich von 43% bis 55% und auf Level01 und Level02 im Bereich von 73% bis 80%.

Energieverbräuche und Energiekosten

Die Energieverbräuche, wenn es um die Heizung, Fernwärme auf Level00 und die Heizung, Kühlung und die mechanische Ventilation auf Level01 und Level02 geht (der Strom für die Haushaltsgeräte ist nicht ausgewertet!) sind in der Abbildung 48 dargestellt. Der Verbrauch beim Bestand liegt im Bereich über 220 MWh/a und die Verbräuche bei den einzelnen Systemen auf Level00 sind im Bereich zwischen 50 und 70 MWh/a. Die Verbräuche in

Bezug auf m² der Bruttogeschossfläche sind beim Bestand 98 kWh/m² a, bei den einzelnen Systemen auf Level00 zwischen 20-30 kWh/m² a (Abbildung 49). Auf Level01 die Verbräuche liegen im Bereich von 30-50 MWh/a und auf Level02 gibt es nur die Gewinne von 25-45 MWh/a (Abbildung 48).

Die Energiekosten in Banja Luka derzeit sind für Fernwärme 0,08 EUR/kWh(22) und Strom 0,12 EUR/kWh (23). Die jährlichen Energiekosten sind beim Bestand EUR 16.500,— und bei den einzelnen Systemen auf Level00 zwischen EUR 3.500,— und EUR 4.500,—. Bei Systemen auf Level01 sind die Energiekosten im Bereich zwischen EUR 3.500,— und EUR 6.500,—. Auf Level02 sind die Energiekosten Null und die Gewinne von ca. EUR 3.000,— bis EUR 5.000,— pro Jahr (Abbildung 50). Die Energiekosten in Bezug auf Quadratmeter der Bruttogeschossfläche sind in der Abbildung 51 dargestellt.

Einsparungen

Die Einsparungen von einzelnen Systemen befinden sich im Bereich von EUR 11.000,— bis EUR 13.000,— pro Jahr oder im Prozent zwischen 70% und 80% pro Jahr auf dem Level00 und Level01. Im Vergleich mit Levels 00 und 01, die Einsparungen auf dem Level02 liegen im Bereich von EUR 19.000,— bis EUR 23.000,— (119-125%) (Abbildungen 52-53).

Rückzahlungszeitraum

Der Rückzahlungszeitraum für die Systemen auf Level00 mit dem Fenster U-Wert von 1,50 W/m²-K ist ca. 10 Jahre, mit dem Fenster U-Wert von 1,10 W/m²-K ist ca. 13 Jahre und mit dem Fenster U-Wert von 0,80 W/m²-K ist über 20 Jahre.

Auf Level01 für die Systemen mit der Fenster U-Wert von 0,80 W/m²-K und 1,10 W/m²-K sind die Rückzahlungszeitraum über 20 Jahre und für das System mit der Fenster U-Wert von 1,50 W/m²-K ist ca. 16 Jahre.

Die Rückzahlungszeiträume für die Systemen auf Level02 sind 13 Jahre für FE150, 18 Jahre für FE110 und 20 Jahre für FE080 (Abbildung 54).

Mit einer Staatsförderung von 30% der Investitionskosten würden sich die Kosten deutlich reduzieren (Abbildung 55).

solare Einstrahlungen

Die solaren Einstrahlungen auf einzelne Flächen sind auf dem Abbildung 56 dargestellt. Der grösste Anteil, über 50 %, kommt auf das Dach. Mit einem Wirkungsgrad der Photovoltaikanlage von 15% können über die Dachfläche die Strommenge von 71.852,49 kWh/a, über die Südostfassade 38.937,91 und Südwestfassade 17.032,39 kWh/a erzeugt werden (Abbildung 57).

Fensterleibungen und solare Einstrahlungen

Die Abbildung 58 zeigt, dass die Fensterleibungen auf Südost- und Südwestfassade keine grossen Auswirkungen bei dem Energieverbrauch (Heizung und Kühlung) machen. Im Fall ohne Leibungen sind die solaren Einstrahlungen höher und somit auch der Kühlverbrauch größer und Heizverbrauch niedriger. Im Fall mit den Leibungen sind die solaren Einstrahlungen niedriger, der Kühlverbrauch niedriger und Heizverbrauch größer .

Plug-and-Play Element

Die Analyse der solaren Einstrahlungen auf die einzelnen Fenster auf Südostfassade zeigt eine leichte lineare Steigung von unterer linken Ecke bis zur oberer rechten Ecke durch alle

Felder (Abbildung 62). Da passiert ein einziger Sprung bei dem Stiegenhaus, weil dort ein niedrigeres Fenster ist.

Die Analyse der durchschnittlichen Tageslichtkoeffizienten zeigt die gleichen Verhältnisse bei den Fassadenfelder wie die Analyse der solaren Einstrahlungen (Abbildungen 60-61). Die Analyse der Verschattungen zeigt ein grösseren Unterschied bei den verschiedenen Feldern. Der Grund dafür sind die unterschiedlichen Höhen der umliegenden Gebäuden sowie die Bäume rund um das Gebäude.

Diskussion

Die Gebäudesimulationen haben gezeigt, dass die benötigte natürliche Lüftung von 0,40 ac/h bei den Systemen auf Level00 verhindern, dass die gute Wärmedämmqualitäten von Elementen und Fenstern sich in Ganzem nutzen lassen. Die Investitionskosten für die Elemente und Fenster mit besseren U-Werten sind einfach nicht wirtschaftlich, weil die grössten Verluste durch die natürliche Lüftung passieren. Die Einsparungen bei diese Systemen auf Level00 befindet sich in dem gleichen Bereich von 70-80%, obwohl die Unterschiede bei den Investitionskosten so groß sind. Der Rückzahlungszeitraum für die Systeme mit dem Fenster U-Wert 1,50 W/m²-K ist um 10 Jahre, mit dem Fenster U-Wert 1,10 W/m²-K ist um 18 Jahre und mit dem Fenster U-Wert 0,80 W/m²-K über 20 Jahre. Mit einer Staatsförderung von 30% verringern sich die Zeiten auf 8 Jahre für das System mit dem Fenster U-Wert 1,50 W/m²-K, 13 Jahre für das System mit dem Fenster U-Wert 1,10 W/m²-K und über 20 Jahre für das System mit dem Fenster U-Wert 0,80 W/m²-K.

Wegen der größeren Verluste durch die natürliche Lüftung ist der nächste Schritt eine Einführung der mechanischen Lüftung und der Übergang auf Level01. Mit dem Level01 wird die Vollklimatisierung (mechanische Ventilation, Heizung und Kühlung) der Räume ermöglicht und gleichzeitig die bessere Wohnqualität. Auf diesem Level werden die Eigenschaften von Wärmedämmqualitäten einzelner Fenster im Einsatz kommen. Die Systeme mit dem FE150 und FE110 auf Level01 werden sich in einem Zeitraum von 10-15 Jahren, mit Staatsförderung von 30%, rückzahlen. Im Vergleich mit Systemen auf Level00 kriegt man auf diesem Level kriegt man viel mehr für die nicht so höherem Investitionskosten.

Die Analyse der solaren Einstrahlungen zeigt, dass die beste wirtschaftliche Lage für eine Photovoltaikanlage die Dachfläche ist. Der Rückzahlungszeitraum für diese Anlage ist unter 10 Jahren, für die Photovoltaikanlage an der Südwestfassade ist zwischen 10 und 15 Jahren und eine Photovoltaikanlage auf der Südostfassade ist nicht wirtschaftlich. Die Photovoltaikanlage am Dach erzeugt genug Strom um die haustechnischen Systeme auf Level02 zu versorgen. Allein die Photovoltaikanlage an der Südwestfassade schafft das nicht. Alle Systeme auf Level02 werden sich in einem Zeitraum von 8-16 Jahre rückzahlen.

Die Untersuchungen mit und ohne Fensterleibungen auf der Südostfassade haben gezeigt, dass die Leibungen keinen grossen Einfluss auf Gesamtenergieverbrauch machen. In der Abbildung 58 sieht man, dass in der Variante mit Leibungen die solare Einstrahlungen niedriger sind und damit auch der Heizverbrauch höher und der Kühlverbrauch niedriger ist. In der Variante ohne Leibungen ist umgekehrt, die solare Einstrahlungen höhere sind, der Heizverbrauch niedriger und Kühlverbrauch höher ist.

In der Abbildung 59 sind die Temperaturverläufe für die Varianten mit natürlicher und mechanischer Lüftung dargestellt. Laut diese Ergebnisse ist einen Bedarf nach Kühlung sichtbar, weil die Raumlufttemperaturen sich in einen längeren Zeitraum im Bereich über 30°C befinden.

Plug-and-Play Element

Bei der Analyse der solaren Einstrahlungen und Tageslichtfaktoren sind nur kleine Unterschiede zwischen den verschiedenen Feldern sichtbar. Das ist nicht genug interessant um die Parameter für das Muster akzeptieren zu können.

Bei den Verschattungen sieht man größere Unterschiede zwischen einzelnen Feldern sowie Geschossen. Diese Parameter sind als Hauptparameter für das Muster angenommen.

Für das Muster M01 (Abbildungen 64-68) sind die Werte von Verschattungen in drei Gruppen geteilt und daraus sind drei Typen entstanden. Die drei Typen unterscheiden sich durch folgende Parameter:

- Abstände in horizontaler Richtung
- Tiefe der Latten

Die Fassade wird mittels diesen verschiedenen Typen in drei Bereiche geteilt.

Für das Muster M02 sind die Inputs in den Reihen betrachtet und die Differenz zwischen Maximum und Minimum in jeder Reihe wird als Parameter, der Einfluss auf die Abstände zwischen den Latten, definieren. In diesem Muster alle Latten haben die gleiche Tiefe. Die Fassade ist mit diesem Muster als eine Fläche behandelt (Abbildungen 70-73).

Das Muster M03 macht, dass die Fassade eine Erscheinung von einem Stück des Stoffes kriegt. Diese Fläche wird von Inputs aus der Tabelle mit Verschattungsfaktoren definiert. Diese Inputs werden in ausgewählte Bereiche angepasst und daraus kommen verschiedene Erscheinungen (die drei Beispiele sind in den Abbildungen 76-78 angezeigt). Die Fläche dient um die gekrümmte Seite der Latten zu definieren.

Schlussfolgerungen und weitere Empfehlungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Low-Tech System, das durch mehrere Varianten und auf mehreren Levels untersucht ist, in der Kombination mit verschiedenen haustechnischen Systemen, grosse Energieeinsparungen und mit Untersuchungen von der Umgebung, eine neue Haut des alten Gebäudes erzeugen kann. Auf der anderen Seite hat sich gezeigt, dass manche sehr teure Kombinationen nicht wirtschaftlich unter bestimmten Bedingungen, wie z.B. mit natürlicher Lüftung, sind. Hoffentlich werden solche Untersuchungen in die Realisierung eines Systems führen und durch die Erstellung in den grösseren Mengen auch die Wirtschaft in positiver Richtung bewegen.

Während dieser Arbeit sind noch manche Punkte bzw. Methoden offen geblieben: z.B. wie könnte man den ganzen Prozess von der Analyse der Umgebung, von der Analyse des Energieverbrauchs, von Investitionsmöglichkeiten bis zur verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten automatisieren lassen oder noch bessere Algorithmen für das Fassadenmuster entwickeln. Diese Punkte sehe ich, für alle Personen, das Interesse an Energiesimulationen und Fassadenentwicklung hätten, und für mich selbst, als eine Möglichkeit für die Weiterentwicklung dieses Themas.

Danksagung

Zuerst bedanke ich mich bei meiner Familie für die grosse Unterstützung. Bedanken möchte ich mich bei meinen Betreuern Univ.-Prof. Dipl.-Arch. Dr.sc.ETH Urs Hirschberg und Dipl.-Ing. Dr.techn. Milena Stavric aus dem Institut für Architektur und Medien für die sehr produktiven und hilfreichen Diskussionen und Korrekturen bedanken.

Diese Arbeit und viele Arbeitsweisen in der Arbeit würden nicht ohne grossen Erfahrungen beim Büro Dr. Pfeiler GmbH aus Graz möglich sein. Deswegen möchte ich mich bei den KollegInnen im Büro und besonders beim Geschäftsführer Dipl.-Ing. Wolfgang Gollner für seine Zeit und Inputs bedanken.

Fussnoten, Referenzen und Abbildungen

- 1: laut der Statistik von „Sume Republike Srpske“ (die Wälder der Republik Srpska) <http://www.sumers.org/> am [11.11.2013]
- 2: laut der Statistik von Statistikamtes der Republika Srpska <http://www.rzs.rs.ba/> am [11.11.2013]
- 3: <http://www.creebyrhomborg.com/> [15.11.2013]
- 4: <http://www.gap-solutions.at/> [15.11.2013]
- 5: <http://www.lattkearchitekten.de/tes-energyfacade.html> [15.11.2013]
- 7: <http://www.proholz.at/zuschnitt/51/der-oesterreichische-wald/> [15.11.2013]
- 8: die „Mahala“ sind relativ eigenständige Siedlungseinheiten, die sich nach ethnischen Merkmalen, nach Verwandtschaften und natürlichen Standortcharakteristiken formieren. Jede „Mahala“ verfügt über einen eigenen Namen und gravitiert um das entsprechende religiöse Gebäude.
- 9: Geschichte der Stadt, <http://www.banjaluka.rs.ba/front/category/65/> [09.11.2013]
- 10: über die Stadt, <http://www.banjaluka.rs.ba/front/category/63/> [09.11.2013]
- 11: Die Daten aus dem Kataster, http://www.sumers.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=526&Itemid=134 [09.11.2013]
12. die Abmessungen und die Fakten stammen aus ursprünglichen Plänen - Staatsarchiv
13. die Aufbauten stammen aus ursprünglichen Plänen - Staatsarchiv
14. online U-Wert Rechner, <http://www.u-wert.net/> [12.01.2014]
15. Pilkington Wärmedämmglas-Produktpalette, <http://www.pilkington.com/europe/germany/german/products/bp/bybenefit/thermalinsulation/produkte.htm> [12.01.2014]
16. Gerhard Hausladen, Michael de Saldanha, Petra Liedl, Christina Sager: KlimaDesign; 2004
- 17: Landesverband Steiermark und Kärtner: Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile; 2006
- 18: Büro für Umweltchemie Zürich: Graue Energie von Baustoffen; 1998
- 19: ÖNORM B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau
- 20: International Weather for Energy Calculations, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=369/pagename=alpha_list [15.11.2013]
- 21: visual programming Dynamo: <http://autodeskvasari.com/dynamo> [15.02.2014]
- 22: Toplana d.o.o. Banja Luka (Fernwärme Banja Luka), <http://www.bltoplana.com/> [15.11.2013]
- 23: Elektrokrajina Banja Luka, <http://www.elektrokrajina.com/sr/informacije-za-kupce/tarife/tarifni-sistem> [15.11.2013]

Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen stammen vom Autor, mit Ausnahme folgender:

- Abb.01: offizielle Webseite der Stadt Banja Luka [08.11.2013] http://www.banjaluka.rs.ba/gallery/5/?right_mi=55
- Abb.02: offizielle Webseite der Stadt Banja Luka [08.11.2013] http://www.banjaluka.rs.ba/gallery/5/?right_mi=55
- Abb.03: offizielle Webseite der Stadt Banja Luka [08.11.2013] http://www.banjaluka.rs.ba/gallery/5/?right_mi=55
- Abb.04: die Daten sind aus offizieller Webseite der Stadt Banja Luka angenommen [08.11.2013] <http://www.banjaluka.rs.ba/>
- Abb.06: Wikipedia [08.11.2013] http://sr.wikipedia.org/wiki/Датотека:Banja_luka_-_panorama.jpg
- Abb.07: google maps [11.11.2013] <http://maps.google.com>
- Abb.08: wetterkontor.de [11.11.2013] <http://wetterkontor.de/de/klima/klima2.asp?land=ba&stat=14542>

Abb.14: google maps [11.11.2013] <http://maps.google.com>

Abb.15: der Grundriss, Quelle: Staatsarchiv der Republika Srpska

Abb.33: die Daten stammen aus: <http://www.solarserver.de/service-tools/photovoltaik-preisindex.html> [11.02.2014]