



Projektnummer 2011.21

Modulares Simulationsmodell für die Optimierung der Nachhaltigkeit von Holzbauten

**Forschungsarbeit,
Schlussbericht zu Händen des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung**

Inhalt:

1. Ausgangslage
2. Ausgeführte Arbeiten
3. Untersuchte Gebiete
4. Verwendete Methoden
5. Beurteilung der Untersuchungsergebnissen
6. Folgerung aus den Erkenntnisse
7. Organisation
8. Ressourcen
9. Konsequenzen

1. Ausgangslage

Die Frage nach dem „guten“, dem „richtigen“ Bauen ist wohl so alt wie die ersten Versuche der Menschheit, sich irgendwie gegen die Unbill des Wetters und gegen wilde Tiere zu schützen. Nur die Kriterien und die Antworten haben sich im Laufe der Zeit geändert. Wie stets muss und kann das Bauen bei der Lösung der drängendsten Herausforderungen eine zentrale Rolle spielen.

Die Klimaerwärmung ist heute eine der drängendsten Herausforderungen. Der gegenwärtige Ausstoss an Treibhausgasen, insbesondere von CO₂ ist mit den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung nicht vereinbar – weltweit, aber auch hierzulande. Um die prognostizierte Temperaturerhöhung auf maximal 2° C zu stabilisieren, muss der weltweite CO₂-Ausstoss sehr stark reduziert werden. Auch die Schweiz muss ihren CO₂-Ausstoss signifikant reduzieren, die Energieversorgung umbauen und ihre Energieintensität weiter reduzieren. Dabei kommt der Architektur, dem Bauwesen und der Gebäudetechnologie eine zentrale Rolle zu:

- Zentrale Grössen für den Bausektor sind noch nicht nachhaltig: der CO₂-Ausstoss und Ressourcenverbrauch und die Landschaftsbeanspruchung
- Der Immobilienpark mit seinen immer komplexeren und energieintensiven Systemen verursacht heute rund die Hälfte des landesweiten Gesamtenergieaufwandes und der CO₂-Emissionen

Die Senkung der CO₂-Emissionen steht nicht nur mehr in politischen Diskussionen im Vordergrund: Eine Gesellschaft, die nur noch eine Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr produziert ist zum Beispiel das Ziel der Städte Zürich, Basel und Genf bis 2050.¹ Nicht nur deshalb gibt es je länger desto mehr einschlägige Verordnungen und Anreizprogramme sowie verschiedene Hilfsmittel, die dieses Ziel vor Augen haben:

- Gebäudestandards, die den Verbrauch an Betriebsenergie limitieren, wie die in der Schweiz etablierten Standards Minergie-, bzw. Minergie-P etc.
- Staatliche Fördergelder für die Sanierung durch «Das Gebäudeprogramm»
- Gebäudestandards und Hilfsmittel, die sich mit der Nachhaltigkeit von Baumaterialien befassen, wie das Eco-Label von eco-bau oder das Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie von Gebäuden»
- Richtlinien, die sich interdisziplinär mit den Ressourcen und dem CO₂-Ausstoss befassen, wie das Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie» oder die 2000-Watt-Gesellschaft
- Weiterführende Literatur zum Thema wie die Lignum Dokumentationen Lignatec «Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz – Grundlagen» und Lignatec «Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz – Umsetzung»
- Das in Rahmen dieses Projektes erstellte Simulationsmodell für die situations- und projektabhängige Darstellung der Eigenschaften von (Holz-)Bauten in der Planungs- und Entscheidungsphase

Die Grundlagen sind damit zwischenzeitlich mehrheitlich vorhanden, erfreulicherweise speziell für den Holzbau. Mit den genannten Hilfsmitteln kann das übergeordnete Ziel allgemein erreicht werden und die Stellgrössen bei den interdisziplinären Betrachtungsmethoden (wie z.B. dem neuen Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie»²) sind durch die Forschungsarbeit im Rahmen dieses Projektes und im Rahmen der vorgenannten Lignatec exemplarisch eruiert worden bzw. können sie mit dem Simulationsmodell weiter ermittelt werden.

¹ Das entspricht z.B. der Verbrennung von 300 kg fossilem Brennstoff – diese Menge ist z.B. bereits erreicht, wenn ein Bagger während In Kraft seit Juli 2011

Die Architekten und Ingenieure sind damit in der Lage CO₂- und treibhausgas-optimierte Holzbauten zu planen und umzusetzen. Mit dem Simulationsmodell, welches auch ein Evaluierungswerkzeug ist, lassen sich die kritischen materialtechnischen sowie Technologie-Parameter dynamisch und vernetzt aufzeigen.

2. Ausgeführte Arbeiten

Mittels der massgeblichen finanziellen Unterstützung des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung hat sich die Lignum der Herausforderung angenommen.

Das entwickelte modulare Simulationsmodell wurde in einem ersten Schritt gedanklich pro Modul erstellt. Die Möglichkeit zum späteren Ausbau der Module wie auch des Gesamtsystems hatte dabei Priorität. Durch dieses Vorgehen konnten Redundanzen konsequent zu vermeiden werden. Die auf dieser Vorarbeit ausgewählten und erstellten Hilfsmittel wurden auf einander abgestimmt und zusammengehängt. Die Einbettung der Teilresultate in ein Excelfile schliesst die Entwicklung des Simulationsmodells ab.

Damit das Tool glaubwürdig und für unabhängige Architekten/Ingenieure/Planer verwendbar ist, wurde ein kommerziell erhältliches Programm (Grisli) für die Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen ausgewählt. Es bezieht sich auf etablierten Grundlagen wie die ecoinvent-Datenbank. Für die Module und der Verifizierung des Systems wurde folgendermassen vorgegangen:

1. Festlegung des Gebäudes und dessen Bauteilen (Material- und Bauteilliste) in Anlehnung an die FGZ Überbauung «Hegianwandweg» in Zürich, welches als klassischer Vertreter des zeitgemässen mehrgeschossigen Holzbaus angesehen wird;
2. Analyse der Grauen Energie und Treibhausgase (Literaturrecherche);
3. Erst-Analyse des CO₂- und Treibhausgasprofils und der thermischen Eigenschaften von unterschiedlichen Bauausführungen, um eine weitere Abschätzung der Gesamtwirkung der Module zu haben (Literaturrecherche);
4. Erarbeitung einer Methodik zur Zusammenfügung der Resultate aus den Modulen mit einer tabellarischen Enddarstellung des projektabhängigen Gesamtergebnisses;
5. Evaluierung des Modells bzw. der gewählten Methodik anhand zwei verschiedener Appenzellerholz-Grundkonstruktionen: eine Variante mit geringerer Massivholzstärke und mehr Wärmedämmung und eine mit stärkerem Massivholzelement und weniger Wärmedämmung.
6. Berichtlegung mit
 - Analyse und Eruierung der signifikanten Parameter (Stellgrössen),
 - Ableiten von Bau-Optimierungen,
 - Publizierung der Erkenntnisse auf der Lignum-Webseite
 - Erstellung einer Berichtvariante für Nägeli Holzbau, welche im Rahmen des Produktmarketings verwendet werden kann
7. Quantifizierung der Gesamtwirkung des Simulationsmodells und Klärung der Modalitäten und institutionellen Fragen (monetäre Abgeltung bei Auftragseingang durch Dritte sowie Anforderungsprofil an die Datenübergabe) und erster Kontakt mit möglichen Auftraggebern, inklusive Einbezug von Interessengruppen;
8. Analyse der Rahmenbedingungen für die Bereitstellung/das Angebot des Simulationmodells für die breite Anwendung in Planungsbüros inkl. benötigter Finanzen und Zeitrahmen.

3. Untersuchte Gebiete

Zur Validierung des Modells wurde in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Nägeli AG aus Gais AR deren Massivholz-Bausystem «Appenzellerholz» modelliert und simuliert (vgl. Forschungsbericht «Modulares Simulationsmodell für die Optimierung der Nachhaltigkeit von Holzbauten – Veranschaulicht am Beispiel Appenzellerholz»).

Für die Entwicklung intelligenter Details wurden daneben Bauteile- und Erstellungs- bzw. Energiekonzept-Studien zu folgenden Parametern durchgeführt:

- Deckensysteme
- Fassaden
- Sanierung kontra Neubau
- Energiekonzept

Die Resultate der Bauteile-Parameterstudie sind im Lignatec 26/2012 von Aeschbacher, C. et al. (2012): *Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz – Umsetzung* der Lignum publiziert.

Die Parametersammlung, welche als Basis für die Entwicklung intelligenter Details nötig ist, kann nun fortlaufend mit den Resultaten von zukünftigen Simulationsaufträgen ergänzt werden. Auf dieser Wissensbasis kann der Holzbau so bezüglich zeitgemässer Anforderungen nach Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie» nachhaltig optimiert werden.

4. Verwendete Methoden

Berechnung

Für die Berechnung der Grauen Energie wurde das Programm Grisli³ ausgewählt. Grisli ist ein Instrument zur Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen von ganzen Gebäuden oder Bauteilen und wurde in einer Arbeitsgemeinschaft vom Büro für Umweltchemie, dem Architekturbüro H.R. Preisig und Herbert Oberholzer entwickelt. Grisli zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Das Programm ist einfach zu bedienen und liefert zuverlässige Ergebnisse: Die Bauteile und Systeme sind der Baupraxis entsprechend logisch gegliedert, sprachlich verständlich beschrieben, mit Grafiken hinterlegt und lassen sich auf einfache Weise auswählen.
- In den Phasen Vorstudie/Vorprojekt stehen dem Planer und der Planerin Durchschnittskonstruktionen zur Verfügung, die eine erste Abschätzung der Grauen Energie erlauben und Variantenvergleiche erleichtern. Mit zunehmender Projektentwicklung lässt sich die Berechnung bis ins Detail differenzieren.
- Die Software basiert auf den Datensätzen von Ecoinvent und enthält 842 Standard-Bauteile und Haustechniksysteme. Diese einmalig grosse Auswahl von Konstruktionen und Bauteilen wurde nach der im Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie von Gebäuden» beschriebenen Methodik erarbeitet.
- Die Vollversion von Grisli ist für CHF 180 (exkl. MWST.) erhältlich und läuft auf Windows und Mac.

³ Die Software kann unter www.grisli.net bestellt werden.

Für die Materialauszüge wurde eine umfangreiche Berechnungsgrundlage in Excel entwickelt. Diese erlaubt sehr einfach das Anpassen von Produkten etc.

Datenbasis

Die Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen für die Appenzellerholz-Platten erfolgte auf Basis vorhandener Ecoinvent-Datensätze.⁴ Es wurde Holz aus Schweizer Produktion ausgewählt, ohne jeglichen Importanteil, und mit dem Schweizer Strommix gerechnet (CH-Verbrauchermix).⁵ Für den Energieträger bei der Trocknung wurden die Daten in Ecoinvent hinterlegt, eine für die Produktion des Appenzellerholzes spezifische Eingabe (Sägereirestholz) konnte nicht eingesetzt werden. Das Hobeln der Innenansicht wurde in der Berechnung vernachlässigt, der dazu nötige Energieaufwand ist auf die ganze Konstruktion gesehen vernachlässigbar.

Zwischen den mit Holzdübeln verbundenen und nicht verleimten kreuzweise geschichteten Holzbrettern liegt das Windpapier «Frapor N» der Firma Lanatherm. Auch dafür ist auf vorhandene Datensätze in Ecoinvent zurückgegriffen worden (Eingabe für Berechnung ist ein Mix aus Zellulosefasern und Schafwolle).

Simulation

Das repräsentative simulierte Gebäude besteht aus einem massiven Untergeschoss und vier respektive fünf Wohngeschossen in Holzbauweise, die um einen massiven Kern mit Erschliessung und Nassräumen angeordnet sind. Die Geschossdecken bestehen aus Brettstapeldecken mit abgehängter Bekleidung und trittschallgedämmter Bodenüberkonstruktion. Analog der Parameterstudie bestehen die Aussenwände aus Appenzellerholz-Elementen ohne innere Vorsatzschalen. Die Fassade besteht aus Glasfaserbeton-Elementen.⁶ Die nichttragenden Zimmer- und Wohnungstrennwände sind im Unterschied zur Referenzkonstruktion statt in Leichtbauweise mit Metallprofilen bei den Appenzellerholz-Varianten als Leichtbauwände mit Holzständer ausgeführt.

Die Referenzkonstruktion ist im Anhang aufgeführt. Um die Bauteile auf Basis ihrer Funktion vergleichen zu können, entsprechen alle drei Konstruktionen – obwohl die Wärmedämmstärken zwischen 35 mm und 160 mm variieren – mit U-Werten bei 0,20 W/m²K dem Standard MuKE. Das gilt auch für die Wahl der Qualität der Fenster/Verglasungen. Die Gesamtstärken⁷ der Aussenwandkonstruktionen variieren zwischen 400 mm (Appenzellerholz 240 mm), 460 mm (Appenzellerholz 360 mm) und 340 mm (Brettstapel 100 mm). Die untersuchten Konstruktionsweisen stehen gemäss Norm SIA 380/1 «Thermische Energie im Hochbau» für eine «mittelschwere» Bauweise.

⁴ Ecoinvent: international anerkannte Datenbank für Ökobilanzierung, Version 2.2

⁵ Im Unterschied zu den Berechnungen, welche von Aeschbacher, C. et al. (2011): *Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz – Grundlagen*. Lignatec 25/2011, Lignum, Zürich durchgeführt worden sind

⁶ Ein Vergleich zwischen Appenzellerholz mit Holzfassade und Referenzberechnungen mit anderen Bauweisen mit Glasfaserbetonfassade (wie z.B. einer üblichen Massivbauweise, welche im städtischen Umfeld mit Glasfaserbeton erstellt wird), wäre nicht interpretierbar.

⁷ inkl. 60 mm Hinterlüftungsebene plus äussere Bekleidung

5. Beurteilung der Untersuchungsergebnissen

Das entwickelte Verfahren zur Erstellung von Parameterstudien mit dem Modellhaus «Hegianwandweg» erfüllt die definierten Anforderungen gut. Mit verhältnismässig geringem Aufwand lassen sich damit umfangreiche Vergleiche anstellen. Das Berechnen von verschiedenen Konstruktions-Varianten (wie z.B. Appenzellerholz) und Parameterstudien ist ohne Probleme möglich; die Resultate können einfach in das modulare Simulationsmodell implementiert werden.

6. Folgerung aus den Erkenntnissen

In Zukunft sollte die Beurteilung der thermischen Gebäudehülle gemäss Norm SIA 380/1 «Thermische Energie im Hochbau» in Relation mit der dafür gewählten Art der Wärmeerzeugung und mit den in diesem Projekt berücksichtigten Faktoren zusammen berücksichtigt werden. Das lässt sich mit dem hier vorgestellten Simulationsmodell und den in Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie» aufgeführten Nutzungsgraden, Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionskoeffizienten für die verschiedenen Energieträger relativ einfach bewerkstelligen. Eine Erweiterung der entwickelten Berechnungsgrundlage auf Excel-Basis ist geplant.

Das entwickelte Modell ist modular aufgebaut. Ein weiteres Modul für die Simulation der Effekte von dynamischen Bauteilen, wie Markisen oder speziellen Verglasungen, wäre interessant. Ein solches Modul könnte bei entsprechender Nachfrage mit dem Simulationsprogramm IDA ICE 4.0 erstellt und angehängt werden.

7. Organisation

Die Projektleitung lag bei Olin Bartlomé, dipl. Ing. FH, Projektleiter Technik bei der Lignum in Zürich. Um das Simulationsmodell zu entwickeln, beteiligten sich verschiedene Spezialisten:

- Katrin Pfäffli, dipl. Arch. ETH/SIA, Zürich
- Hansruedi Preisig, dipl. Arch. SIA, Inhaber von Architekturbüro H.R. Preisig, Zürich
- Frank Werner, Dr. sc. techn. ETH, Inhaber des Büros Umwelt & Entwicklung, Zürich

Das Projekt wurde ferner begleitet durch Urs Christian Luginbühl, dipl. Holzing. HTL, Verband für geprüfte Qualitätshäuser, Biel.

8. Ressourcen

Die Beiträge für das Simulationsmodell wurden zuhanden der Lignum aufgearbeitet. Tabelle 1 fasst den Zeitaufwand für die in Arbeitsschritte zusammen.

Tabelle 1: Zeitaufwand

Geplante Arbeiten		Aufwand (Tage)	
		Spezialisten	Lignum
1	Koordination und Methodik	2	10
2	Analyse Module	5	
3	Abstimmung Module auf Gesamtkonzept	3	1
4	Darstellungskonzept «Endergebnis»		2
5	Parameterstudie	5	10
6	Quantifizierung Gesamtwirkung/ Klärung Modalitäten	2	2
7	Festlegung Rahmenbedingungen	1	5
Total		18	30

Tabelle 2: Kosten

	Aufwand (kCHF)
Aufwand Spezialisten (140 CHF/h bei 8.5 h/Tag)	21.5
Honorare Berechnungen	5.2
Aufwand Lignum (1000 CHF/Tag)	30.0
MwSt. (8 %)	4.5
Unvorhergesehenes, Spesen	2.0
Total	63.2

Tabelle 3: Finanzierung

	Einnahmen (kCHF)
Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung	25.0
Lignum	14.7
Verband geprüfter Qualitätshäuser VGQ	7.5
Firmen: Flumroc AG, Nägeli AG, Isofloc AG, Gutex Holzfaserplattenwerk, Glas Trösch AG	17.7
Total	63.2

Das Projekt wird nach dem positiven Bescheid innert 11 Monaten unter enger Einbindung der beteiligten Firmen und der Spezialisten durchgeführt. Angesichts der kurzen Laufzeit wurden keine eigentlichen Meilensteine definiert.

9. Konsequenzen

Mit dem gewählten Berechnungsprogramm für die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen steht ein zuverlässiges und akzeptiertes Tool zur Verfügung. Denn einerseits basiert die Datengrundlage von Grisli auf Ecoinvent, und andererseits kann das Programm zu relativ günstigen Konditionen bezogen werden. Zusammen mit der im Rahmen dieses Projektes entwickelten, auf Excel basierenden Berechnungsgrundlage können interessierte Akteure Vergleiche prinzipiell selber durchführen und müssen keine Experten hinzuziehen.

Um jedoch den Aufbau des öffentlich zugänglichen Nachschlagewerks mit den Parameterstudien mit qualitativ hochstehenden Einträgen nachhaltig zu sichern, empfiehlt es sich, die Berechnungen und Auswertung weiterhin über die Schnittstelle Lignum laufen zu lassen.

Mit diesem Werkzeug und dem auf der Lignum-Webseite publizierten Parameter-Nachschlagewerk steht nicht nur der Branche, sondern auch der öffentlichen Hand und interessierten Bauherren ein Tool zur Verfügung, welches in der Planungsphase projektbezogene, schlagkräftige Argumente für die Materialwahl und insbesondere für nach-wachsende Rohstoffe liefert. Die holzbautechnischen Stellgrössen können damit eruiert und die Bauweise entsprechend weiter optimiert werden.

Wir danken Ihnen für die grosszügige Unterstützung.

Im Namen der Projektgruppe

Lignum

Holzwirtschaft Schweiz

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Olin Bartlomé', with a long horizontal stroke extending to the right.

Olin Bartlomé, Technik

Zürich, 28.9.12