

Gesamtsystem Passivhaus: Massiv in Stein oder leicht aus Holz

Gerrit Horn

Mein Thema ist „Massivbau und Leichtbau aus Holz in Bezug auf das Passivhaus“. In Österreich gibt es genug sehr gute Beispiele für beide Bauweisen. Deswegen freut es mich umso mehr, dass ich hier aus meiner Praxis erzählen darf, wobei der Schwerpunkt bei den Durchführungsdetails liegt.

Die kleine Zimmerei, die ich gegründet habe, dient dazu, den Zimmereien vor Ort zu zeigen, wie's geht. Denn bei unseren Ausschreibungen hatten wir Schwierigkeiten qualifizierte Handwerksfirmen zu finden, sodass wir nun Projekte, wo der Bauherr passt, selbst durchführen. Wenn wir bei den vorbereitenden Gesprächen mit dem Auftraggeber gut zusammenarbeiten, dann mache auch ich gerne ein Angebot – erstaunlicherweise bin ich immer der billigste, wohl weil ich das Projekt am besten kenne. Obwohl ich Zimmermeister bin, hören sie von mir jetzt nicht nur Lobeshymnen auf das Holzhaus. Der Massivbau und der Holzbau haben beide ihre spezifischen Vor- und Nachteile wie alle Baustoffe auch. Ob ich jetzt PUR-Dämmstoffe oder Zellulose einsetze, ist zunächst belanglos. Wichtig ist es, den Bauherrn so zu beraten, dass es zu einem optimalen Ergebnis kommt. Obwohl mein Vortrag etwas holzbaulastiger sein wird, bevorzuge ich den Holzbau nicht absolut.

Hauptsächlich spreche ich von der Gebäudehülle. Die Technik ist nicht mein Thema. Welche Anforderungen stellen wir an eine solche hochwärmegeämmte Gebäudehülle, wie sie das Passivhaus braucht? Zum einen müssen die Transmissionswärmeverluste reduziert werden, das wirkt sich in hohen Dämmstoffstärken aus, in Abhängigkeit natürlich von den Wärmeleitfähigkeiten des gewählten Dämmstoffes. Zum anderen muss eine absolute Wärmebrückenfreiheit der Gebäudehülle erreicht werden. Die Infiltrationswärmeverluste müssen reduziert werden, also eine luftdichte Gebäudehülle muss hergestellt werden. Bei der Konstruktionsentwicklung muss natürlich das Diffusionsverhalten beachtet werden. Im Passivhaus verbessern sich die U-Werte rund um das Gebäude; es muss nicht zwischen Bodenplatte und Dach unterschieden werden, sondern wir haben einen U-Wert von 0,15 oder 0,12 als Anhaltswert, die projektspezifisch genau errechnet werden.

Besonders wichtig ist die Reduktion der Wärmebrücken. An erster Stelle steht die Vermeidungsregel: Die dämmende Hülle sollte nicht durchbrochen werden. Dann die Durchstoßungsregel: Falls die Dämmung denn doch unterbrochen wird, dann mit möglichst hohem Wärmedurchgangswiderstand. Die Dämmlagen an allen Bauteilanschlüssen müssen lückenlos ineinander übergeführt werden und nicht zuletzt muss man die Geometrie des Gebäudes berücksichtigen. Ausführungen dazu hat auch Wolfgang Feist schon gemacht. Die Geometrieregeln, dass spitze Winkel nicht in Frage kommen, ist nicht ganz so wichtig. Es gibt also genug Spielräume in der Architektur.

Während wir den U-Wert, der den Wärmedurchgang pro m²-Fläche bezeichnet, kennen, so sind die Y-Werte, die die Wärmebrücke beschreiben weniger bekannt. Die Y-Werte bezeichnen den Verlust durch Wärmebrücken, zusätzlich zu dem Verlust über die ganzen Bauteile, abhängig von den laufenden Metern Länge eines Hauses.

Negativ ist dieser Y-Wert, der bei der Wärmebrückenberechnung errechnet wird, wenn das Gebäude eine wärmebrückenfreie Konstruktion darstellt. Ein positiver Wert stellt eine Wärmebrücke dar. Diesen Wert sollte man mit in der Bilanz betrachten, um nicht nachher bei der Auslegung der Haustechnik oder bei Behaglichkeitskriterien, im Passivhaus Probleme zu bekommen.

Der Vergleich vom Holz- und Massivbau

Wir haben im Rahmen eines Forschungsprojektes in Kaiserslautern, in Rheinland-Pfalz im westlichen Teil der Bundesrepublik, ein Projekt geplant, und zwar zwei Reihenhauseszeilen à 3 Häuser, die im Holzbau und Massivbau komplett durchkonstruiert und ausgeschrieben wurden. Der erste Bauabschnitt in Holzbauweise ist seit letztem Jahr realisiert und bewohnt, ich wohne selbst drin. Der zweite Bauabschnitt sollte in Massivbauweise errichtet werden, doch fanden sich keine Käufer, trotz der Prognosen, wir würden die Holzhäuser schwerer verkaufen. Und jetzt wird der 2. Bauabschnitt, weil wir keinen Massivbaukunden fanden, auch als Holzbau errichtet.

Bei diesem Projekt haben wir die verschiedenen Passivhaus-tauglichen Konstruktionen in Bezug auf Luftdichtigkeit, Wärmebrückenfreiheit und vor allem die praktische Umsetzbarkeit auf der Baustelle intensiv untersucht. Wir haben beide Konstruktionsarten ausgeschrieben und dadurch sehr gut überprüfbare Preisvergleiche.

Im Wesentlichen unterscheiden sich ja die Wandaufbauten zwischen Massiv- und Leichtbau durch den Aufbau der Schichten.

Im Massivbau haben wir eine tragende Konstruktion und darauf als extra Schicht einen Dämmstoff aufgebracht. Im Holzbau lassen sich zwar ähnliche Sachen machen, aber in der Regel liegen die tragende und die dämmende Ebene in einer Schicht und die Funktionen werden damit zusammengeführt.

Dazu haben wir im Massivbau die Möglichkeit mit einem Wärmedämmverbundsystem aussenseitig zu dämmen. Je nach System gibt es die Möglichkeit dies einlagig oder zweilagig zu machen. Die einlagige Lösung ist deutlich kostengünstiger, weil der Dämmstoffpreis natürlich der gleiche ist, aber nur halb so viel Arbeitszeit als bei der zweilagigen Ausführung nötig ist. Aber Fugen, die z.B. durch ungenaue Schnitte entstehen, würden Wärmebrücken hervorrufen.

Wir kriegen ja Dämmstoffstärken von um die 40 cm und die sind nicht so leicht in Griff zu kriegen, wie die 6 cm, die zur Zeit am Bau noch üblich sind.

Beispielhaft führe ich nun einige Konstruktionen auf. Grundkonstruktion Kalksandstein mit 15 mm Innenputz in Gips, dann das KSV-Quattrosystem, 33 cm Polystyrol und Außenputz ergibt einen U-Wert von $0,12\text{W/m}^2\text{K}$ und eine Wandstärke von 50,5cm. Würden wir eine Konstruktion mit einem 240er Leichtlochziegel, der bei uns häufiger verwendet wird, wählen oder gar einen 300er oder einen 36er Ziegel, dann brauche ich trotzdem noch einiges an Polystyrol, weil der Stein selbst ist ja kein Dämmstoff und die Wandstärke erhöht sich umso mehr. Es hängt natürlich auch nochmal sehr stark davon ab welchen Rechenwert man für λ hat. Bloß, ich persönlich bin der Meinung, so schön die Ziegelindustrie auch bastelt und noch höher porosiert, ein Ziegel ist kein Dämmstoff, ein Ziegel ist ein Ziegel und soll etwas tragen, und wenn ich einen allzu hoch porosierten Ziegel nehme, dann kann der Bauherr nachher gar nichts mehr darauf aufhängen, weil die Wand, wenn man daran nur ein bisschen anstößt, in sich zusammenfällt. Das ist jetzt etwas überspitzt gesagt, aber deswegen finde ich sollte die Funktionstrennung zwischen tragendem Stein und dämmender Hülle ganz klar sein, denn ohne Dämmung erreiche ich den Passivhaus-Standard mit Ziegeln nicht. Da kann noch so hoch porosiert werden, wenn man die Wand nicht sehr sehr dick macht.

Ein Porenbeton mit 17,5 cm Stärke, erhältlich als wandhohe Elemente, wurde untersucht. Da bräuchten wir nur noch 28 cm Dämmung außen drauf, was eine Gesamtstärke von 48 cm ergibt. Das gleiche Ergebnis haben wir, wenn wir einen Betonfertigteile in dieser Form ausführen. In der Fläche entscheidend sind eher die Anschlüsse oder Stürze o.ä.. Wir haben ja auch vorher bei dem Vortrag von Hrn. Rudolf gesehen, wie man gerade im Bereich des Ringankers auch mal neue Wege gehen kann. Ich stelle fest, dass in den Kostenvergleich nicht nur Kosten pro m^2 -Bauteil rechnen darf, denn wenn ich nur den Baustoff in der Fläche rechne, habe ich natürlich ganz andere Kosten, als wenn ich alle Zusatzanschlüsse (Fenster, Deckenaufleger und die ganzen Bereiche Ringanker usw.) berücksichtige. Die Gesamtkosten muss ich auf die Fläche umlegen, damit die Kosten auch im Massivbau wirklich miteinander verglichen werden können. Z.B. sind ja Betonfertigteile pro m^2 viel teurer, aber in der Verlegung viel einfacher und eröffnen einige Einsparungsmöglichkeiten, wie etwa dadurch, dass man den Innenputz weglässt..

Ein anderes System, das im Bereich Passivhaus viel veröffentlicht wurde ist der bekannte Polystyrolschalungsstein. Diese System ist eine kostengünstige Variante hauptsächlich für Selbstbauer.

Ganz wichtig ist, dass beim unteren Gebäudeabschluss eine thermische Trennung zwischen beheizten und nicht beheizten Zonen erreicht wird. Unbedingt müssen Wärmebrücken vermieden werden. Im Warmbereich darf kein offener Kellerabgang in den kalten Bereich sein.

Wenn wir jetzt z.B. eine Dämmung auf der Kellerdecke haben, dann muss auch eine thermische Trennung im aufgehenden massiven Bauteil sein. Dämmen wir unter der Kellerdecke, ist die thermische Trennung dementsprechend unter der Kellerdecke anzusetzen.

Eine Möglichkeit ist bei einer Bimssteinwand, im Fußpunkt, einen Bimsstein mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit einzusetzen. Die Wärmebrückenuntersuchung ist für diese Bimsbetonsteine ausgeführt

worden. Haben wir nur eine durchgehende homogene Wand mit $\lambda = 0,45 \text{ W/mK}$ dann ergibt sich hier ein Ψ -Wert von $0,174 \text{ W/mK}$ (bei einer Dämmung oben von 30 cm): Das ist natürlich ein sehr hoher Wert. Habe ich einen Bimsbetonstein mit einem leichten Stein, der nur $0,18 \text{ W/mK}$ Wärmeleitfähigkeit hat, dann reduziert sich dieser Wert auf wesentlich bessere $0,067 \text{ W/mK}$. Als Alternative haben wir mit einer Puren-Dämmbrücke gerechnet, d.h. also ein Purenit mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,07 \text{ W/mK}$, dann reduziert sich diese Wärmebrücke an dieser Stelle schon auf $0,019 \text{ W/mK}$. Natürlich sind diese Werte im Positiven, also Wärmebrücken, aber man kommt jetzt schon langsam an eine wärmebrückenfreie Konstruktion heran. Sie müssen alle Werte mitbilanzieren. Wenn ich hier einen schlechteren Wert in der Bilanz habe, dann muss ich zum Ausgleich die anderen Bauteile vielleicht etwas besser dämmen.

Wir können also eine thermische Trennung unter der Wand z.B. mit einem Porenbetonstein machen, mit einer Puren-Dämmbrücke, also aus Purenit, oder – oft eingesetzt – mit einem sogenannten Foamglas, Foamglas-Perensul, das extra für diesen unteren Bereich gemacht wurde oder mit dem sogenannten Schöck-Isomur.

Die Wärmeleitfähigkeit von Porenbeton beträgt $0,09 \text{ W/mK}$ bis $0,21 \text{ W/mK}$. Das sind jetzt Tabellenwerte; natürlich gibt es auch einzelne Hersteller, die andere Werte haben, wie für die Puren-Dämmbrücke $0,075 \text{ W/mK}$ oder Foamglas-Perenson $0,055 \text{ W/mK}$. Ich weiß, dass es für Puren bessere Werte gibt, aber das ist der Wert, den ich aus den Unterlagen für jedermann herausgekriegt habe.

Die Angaben zu den Dauerdruckfestigkeiten gehen bei Puren bis $1,6 \text{ N/mm}^2$. In den allgemeinen Unterlagen wird jedoch nur der Wert $0,7 \text{ N/mm}^2$ erwähnt, also ein auch nicht wesentlich besserer Wert als bei Porenbetonstein. Mit Foamglas ist er wesentlich schlechter.

Ganz entscheidend wird es, wenn ich jetzt den Preis vergleiche. Den Porenbetonstein kriege ich für $\text{DM } 250,-$ bis $350,-$ pro m^2 während die Purendämmbrücke und die anderen Sachen fast das 10-fache kosten. Und da muss man sich einfach einmal überlegen, welchen Weg man geht. Natürlich ist dann die nächste Frage, wenn ich schon Porenbeton im Fußpunkt nehme, warum ich ihn dann nicht fürs ganze Haus nehme. Der Vergleich hier: der Kalksandstein ist etwas günstiger als der Porenbeton und hat eine wesentlich höhere Druckfestigkeit als die ganzen anderen Stoffe.

Nun zu den möglichen Lasten, die am Fußpunkt auftreten können. Angenommen ich habe eine zweigeschossiges Haus. Wir haben die Eigenlast der Wand aus den 2 Geschossen, wir haben Lasten aus Decken, Dach und übliche Lasten. Bei den Summen einer starken Wand, die sehr schwer ist, kommen unten $1,5 \text{ N/mm}^2$ raus. Arbeite ich mit einer dünneren Wand, ist das wesentlich weniger. Daraus sieht man, dass da gar nicht mehr so viel übrig bleibt: z.B. ist man beim Foamglas mit $0,48 \text{ N/mm}^2$ schnell an der Grenze.

In einem Passivhaus in Wohlfurt, ausgeführt von Architekt Zweier, wurde eine andere Möglichkeit der thermischen Trennung durchgeführt. Bei einer Ortbetonwand wurde in die Schalungen unten ein Dämmstoff eingelegt und den Beton hat man punktuell auf die Bodenplatte durchgehen lassen. Diese punktuellen Wärmebrücken muss man natürlich auch in der Bilanz berücksichtigen.

Das Dach kann man auch im Massivbau ausführen, wie in üblichen Dachstühlen, nur mit höherer Dämmung, die als Zwischensparrendämmungen, Aufsparrendämmung oder Kombinationen daraus eingesetzt werden können. Eine andere Möglichkeit ist ein Massivdach aussenseitig zu dämmen, eine – wie ich denke – auch sehr sinnvolle Alternative. Die Doppel-T-Träger, von welcher Firma auch immer, werden sich wohl mehr und mehr durchsetzen, wobei sich die Zimmerer daran gewöhnen müssen mit diesen Produkten zu arbeiten. Da herrschen auch noch sehr viele Vorurteile.

Man muss bei der Planung natürlich darauf achten, dass die Konstruktion luftdicht ausgeführt werden kann. Die Aussenwand durchstoßende Sparren bei sichtbaren Dachstühlen zu machen, das ist beim Passivhaus nicht möglich. Für die beliebten sichtbaren Dachbalkenkonstruktionen muss man sich andere Lösungen einfallen lassen. Ein Bauteil darf nicht durch die Wand gehen und wenn es auch noch so behaglich aussieht.

Die Holztafelbauweise, also keine Vorortproduktion, setzt sich im Holzbau mehr und mehr durch. Ich selbst bin ein absoluter Fan der Vorfertigung.

Das Objekt, das wir eben gerade machen, fertigen wir aber diesmal, weil ich nebenan wohne, zur Gänze auf der Baustelle. Wir haben die Wandelemente jetzt in den letzten 4 Wochen auf der Baustelle gebastelt und richten sie im Moment mit dem Kran auf. Das möchte ich niemandem anraten. Wir machen's trotzdem, um zu sehen, wie groß die Kosteneinsparungseffekte sind. Aber normalerweise arbeiten wir

mit Elementen, die sehr genau vorgeplant sind und die soweit wie möglich vorgefertigt sind. Wandbeplankungen, Dämmungen, Fenster, Türen und Sanitär- und Elektroinstallation sind normalerweise schon eingebaut und wenn möglich ist auch schon die Außenhaut weitgehend drauf.

Solch ein Einfamilienhaus oder eine Bürohauseinheit kann in ein, zwei Tagen fertig sein. Und dadurch ist man unabhängig von der Witterung.

Für ein anderes Projekt haben wir die Elemente komplett mit Dämmung gefüllt. Weil wir für Schrauben keine Montageöffnungen haben wollten, haben wir auf einen sogenannten Profix-Schwalbenschwanz-Eckverbinder, das ist ein gefrästes Teil, zurückgegriffen. Diese Elemente passen hochgenau ineinander, werden nur ineinander eingehakt und dann kommt schon das nächste Element. So zumindest hatte ich es mir vorgestellt. In der Praxis hat es etwas geklemmt und man brauchte länger, als wenn man geschraubt hätte, bis meine Frau, die nur zum Fotografieren da war, auf die Idee kam, die Teile mit Melkfett aus Landhandel einzuschmieren. Dann ging's wesentlich schneller.

Besonderes wichtig ist es, bei der Ausführung mit Elementen bereits in der Projektierung die Haustechnik miteinzuplanen. So kann z. B. der Solarspeicher mit dem Kran an die richtige Stelle gehoben werden. Ebenso können die Innenausbaumaterialien, wenn sie bereitstehen, in die Räume, wo sie gebraucht

werden, gehoben werden, sodass die Handwerker sich nicht mühsam treppauf – treppab mit solchen Materialien bemühen müssen. Es ist leichter ein paar Gipsplatten, die zuviel sind, runterzutragen als die, die fehlen, hochzutragen.

Wir haben für unser Forschungsprojekt in Erfenbach, einen Holzbau, verschiedene Passivhaus-taugliche Holzkonstruktionen sehr intensiv untersucht und auch Wärmebrückenberechnungen gemacht.

Wir haben 10 verschiedene Konstruktionen verglichen. Diese sind in Abb. 1 dargestellt. Wir haben Vollholzstiele in verschiedenen Rastern angewendet, damit wir die Auswirkungen beurteilen können. So haben wir die 2,5 m-Plattenbreite statt durch 4 Raster durch 3 Raster geteilt, dann kriegen wir 83,3 cm. Oder wenn wir einen Holzstegträger statt dieser Träger einsetzen und verschiedene Gurtstärken, dann haben wir bei einer Konstruktion, die der

Arch. Naumann aus Leipzig anwendet – einen Schalungsträger im Raster von 1,25 m haben wir mit in den Vergleich gezogen – oder dass wir diese Dämmstärke, die wir mit 35 cm haben, mit einer doppelten Wand, also doppelte Stiele, oder die Stiele zusammensetzen, das wäre jetzt ein Boxträger, der von einem Zimmermeister selbst gefertigt werden kann, raumseitig ein etwas dickerer Querschnitt, 6 auf 10, aussen 4 auf 6er Latte verbunden mit 2 Hartfaserplatten, 4 mm dazwischen ausgedämmt, um also hier eine thermische Trennung hinzukriegen, oder ein sogenannter Z-Träger, auch hier wieder innen der tragende Stiel verbunden mit entweder Abstandshölzern oder auch einer Platte und aussen ein dünneres Holz, welches nur die Fassade zu tragen hat und letztlich zum Vergleich ein Rahmenwerk wie es die Fertighausindustrie oder der übliche Holzrahmenbau hat von 12 cm Stärke und darauf eine Thermohaut mit 24 cm. Letztlich haben wir die erste Konstruktion, die aber etwas dünner ist und eine Installationsebene aussen drauf hat.

Als Ergebnis dieser Untersuchung: Alle Konstruktionen sind Passivhaus-tauglich. Zu hinterfragen ist bei der Konstruktion mit einem Holz 6 cm breit, 36 cm tief als Träger in der Wand das Material. Das kann ich aus Vollholz nur mit Brettschichtholz machen zu einem m²-Preis, der horrend ist. Ein normales Vollholz 6 cm auf 36 cm, wenn es geschnitten wird, also als Bowle, macht Bewegung in alle Richtungen: Da kann ich keine wunderschöne passgenaue Kiste zusammenbasteln. Die anderen Konstruktionen sind vom Wärmebrückeneffekt natürlich auch besser als diese Vollholzkonstruktion, aber das kann man berücksichtigen. Einige Firmen in Vorarlberg führen diese Konstruktion mit Brettschichtholz so oder so ähnlich aus. Wenn man also die einzelnen Bauteilschichten addiert, ist eindeutig dieser Doppel-T-Träger aus Holz kostenmäßig am günstigsten gewesen, wobei ich mit Kostenaussagen immer vorsichtig bin. Wichtig war darzustellen

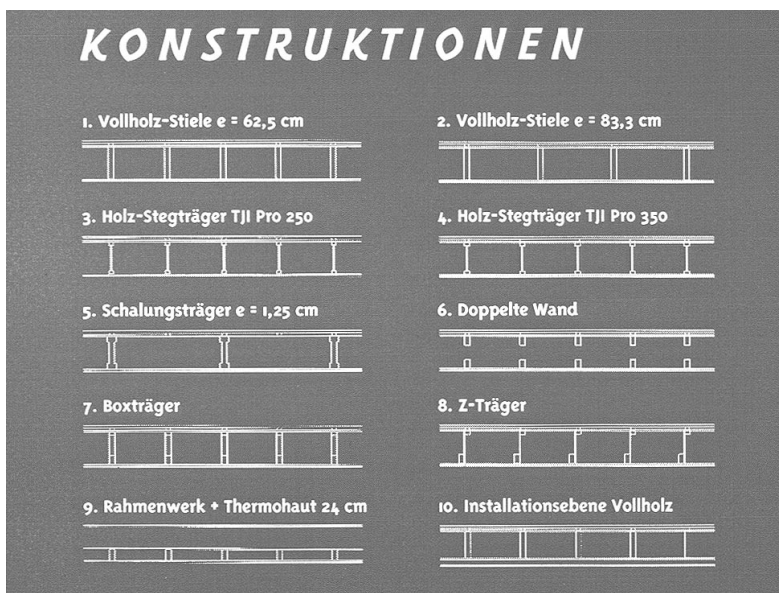


Abb. 1: Passivhaus-taugliche Holzkonstruktionen im Vergleich

welche Möglichkeiten sind Passivhaus-tauglich und grundsätzlich relativ einfach durchzuführen.

Wir haben bei diesem Projekt verschiedene Dämmstoffe untersucht. Bei Deckenelementen dient die Dämmung nur als Schallschutz. Wir haben in einem Haus komplett Mineralwolle eingebaut, bei einem anderen Zellulosedämmplatten der Fa. Homatherm und bei einem dritten Haus Steinwolle von Grünzweig & Hartmann. Ich nenne die Produktnamen, weil diese Firmen finanziell zu dem Projekt beigetragen haben. Ebenfalls untersucht wurde die Einblas-Zellulosewolle Dobri. Hier wurde – bezahlt von den Dämmstoffherstellern – die Arbeitszeit erfasst, damit der tatsächliche Mehraufwand für dick gedämmte Konstruktionen festgestellt werden kann.

Weiters haben wir bei den Häusern verschiedene Luftdichtigkeitskonzepte erstellt, d.h. ein Haus wurde komplett mit verklebter Folie abgedichtet, bei den anderen beiden Häuser bestand die luftdichte Schicht aus Plattenwerkstoffen, Spanplatte und OSB-Platte.

Trotz unterschiedlicher Porosität der Oberflächen erzielten die beiden Werkstoffe die gleichen Luftdichtigkeitswerte.

Auch das Haus mit der Folie erreichte etwa den gleichen Wert. Das Besondere war, dass auch der Aufwand in etwa vergleichbar war.

Bei diesen hohen Dämmstoffstärken hat sich sehr deutlich gezeigt, dass die Einblaszellulose und die Mineralwolle fertig verarbeitet ungefähr kostengleich sind. Während die Einblaszellulose pro m³ im Einkauf preislich über der Mineralwolle liegt, muss ich bei einer 36 cm dicken Mineralwollendämmung in zwei oder drei Lagen arbeiten, während ich bei Verarbeitung der Einblaszellulose eine enorme Zeiterparnis habe. Der Einblasvorgang muss natürlich sehr genau in den Arbeitsablauf eingeplant werden, insbesondere dann, wenn die vorfertigende Zimmerei nicht über Einblasmöglichkeiten verfügt und Fremdfirmen beauftragt werden müssen. In solchen Fällen kann es passieren, dass Kran- und Hubzeiten entstehen, weil die vorgefertigten Elemente nochmals zum Einblasen hervorgeholt werden müssen.

Sehr oft taucht die Frage nach der Setzungssicherheit der Zellulose bei solch dicken Dämmstärken auf. Die Setzungssicherheit bei Zellulose ist gegeben. Das ist natürlich mit dem Hersteller, von denen es ja schon einige gibt, unbedingt abzusprechen. Bei unserem Produkt Dobri mussten es 60 kg/m³ sein. Wenn zertifizierte Betriebe die Ausführung übernehmen, sind die Ergebnisse sehr gut, dann quillt einem diese Wolle nach 200 km Straßentransport entgegen, wenn man auf der Baustelle Elemente öffnet. Daher habe ich keine Bedenken mehr, dass diese Wolle sich im Laufe der Nutzung irgendwann mal setzt. Das ist ja zum einen vom Hersteller auch entsprechend geprobt, und zum anderen wird das Haus diese Belastung nicht mehr haben.

Wir arbeiten ja mit Holzstegträgern. Andere Möglichkeiten zu dämmen sind sowohl Zellulosedämmplatten von Homatherm als auch Mineralwolle. Homatherm hat uns für diesen Trägertyp die genau passenden Dämmplatten geliefert. Von Grünzweig & Hartmann musste man sie auf das Maß schneiden, aber das ging auch. Das extra Ausdämmen des Steges bedeutet natürlich nochmal Arbeitszeit.

Bei unseren Beratungen fremder Architekten und ausführender Unternehmen stoßen wir oft auf das Problem, dass der Architekt zum ersten Mal ein Holzhaus und zum ersten Mal ein Passivhaus plant. Dazu muss er viele Dinge neu lernen, und deswegen sollte er sich schon früh mit dem Zimmermann zusammentun, um die Probleme nicht selbst am Tisch zu lösen. Ich glaube ja auch immer, ich könnte selbst alles neu erfinden, bevor ich die Frage, die sich damit auskennen. Aber ein gutes Projekt sollte man wirklich bereits im Rahmen der Ausschreibung mit der ausführenden Firma intensiv vorbereiten.

Vor allem bei Holzhäusern ist das Problem der Verformung, die natürlich zu Luftundichtigkeiten führen kann, ganz wichtig: Durchsetzung; Schwinden des Holzes oder nicht passgenaue Konstruktionen; Fugen, durch die später bei Belastung, Setzungsrisse entstehen.

Diese Probleme treten auf, weil es Definitionsunterschiede für „Trockenes Holz“ gibt. Man muss lt. VOB trockenes Holz verwenden. Nach DIN 4074, die Bauschnittholz definiert, versteht man unter „trockenem Holz“, dass es einen Trocknungsgrad von 20 % hat. Konstruktionsvollholz, das uns seit einigen Jahren immer und überall empfohlen wird, hat hingegen 15 % +/- 3%, d.h. zwischen 12% und 18 %. Es gibt auf dem Rheinland-Pfälzischen Markt jetzt ein Qualitätsbauholz (QBH), das ist über ein Jahr hinweg luftgetrocknetes Holz, das auch nicht wesentlich trockener als 18% ist. In der Nutzung im Haus stellt sich aber eine Gleichgewichtsfeuchte von 9 % +/- 3 % ein, sodass das „trockene Holz“ mit 20 % – nach meinen Begriffen nasses Holz – auf 9 % schwindet. Obwohl der Zimmerer normgerechtes Holz verwendet hat, setzt sich das ganze Haus, die Querschnitte summiert, um 1,5 cm.

Da reißen Klebebänder und Folien, es gibt Risse in der raumseitigen Gipsbeplankung, und wenn dadurch die Luftdichtigkeit statt 0,6 – wie sie für das Passivhaus gefordert ist – 2,0 beträgt, dann steigt der Energiebedarf eines Passivhauses von 15 kWh/m² und Jahr auf 22 kWh/m² und Jahr. Das Haus ist dann plötzlich kein Passivhaus mehr. Es kann Tauwasserausfall in der Konstruktion und auch extreme Behaglichkeitsprobleme geben, wenn Luft durch die Fugen bläst.

Deswegen sollte man technische Holzprodukte verwenden, z. B. Holzstegträger oder Parallam oder andere Produkte, die von vornherein Trocknungsgrade von 12 % oder weniger aufweisen, oder man sollte so konstruieren, dass Setzungen aufgefangen werden.

Auf die Fenster ist Wolfgang Feist schon eingegangen. Zu den inzwischen wesentlich besseren Fenstern gehört der gedämmte Rahmen. Diese Fenster haben keinen Tauwasserausfall auf der Scheibe mehr, wie wir es sonst im Winter in all unseren Häusern kennen.

Der Markt hat verschiedene Fenster entwickelt mit z.B. ganz geschäumten Rahmen. Auch das althergebrachte Kastenfenster erlebt wieder eine Renaissance, wobei die Kosten sehr hoch sind.

Passivhäuser müssen luftdicht sein, das bedeutet, sie müssen einen geringen Luftwechsel erreichen. Der n50-Wert für Passivhäuser ist 0,6 Luftwechsel pro Stunde, die DIN 4108 Teil 7 schreibt für „herkömmliche“ Häuser ohne Lüftungsanlage einen Luftwechsel kleiner 3,0 vor, bei Häusern mit Lüftungsanlagen kleiner 1,5. Übliche Neubauten, die wir messen, weisen Werte zwischen 3 und 10 auf, also beträchtliche Überschreitungen der Norm.

Die Messung selbst erfolgt mit einem Blower-Door-Gerät. Wir setzen das Gebäude unter Unter- oder Überdruck. Wenn wir das Haus mit 50 Pascal Unterdruck gegenüber der Aussenluft setzen, strömt über alle vorhandenen Ritzen und Fugen Luft nach, die wir messen. Die Messergebnisse werden in ein Verhältnis zum Volumen gesetzt was dann den Wert für die Luftdichtigkeit des Gebäudes ergibt. Wenn wir ein Haus haben, das 400 m³ Luftvolumen hat und wir transportieren mit diesem Ventilator bei 50 Pascal eben 400 m³/h, dann haben wir eine Luftwechselrate von 1, transportieren wir nur 200 m³/h, dann haben wir eine Luftwechselrate von 0,5.

Folgende Konzepte wenden wir zur Erreichung der Luftdichtigkeit an: Entweder wir arbeiten mit Pappen oder Folien oder wir benutzen eine Beplankung als luftdichte Ebene und verkleben die Stöße. Problematisch wird's, wo alle drei Ebenen aufeinanderstoßen. Obwohl die Stöße von aussen optisch sehr schön

aussehen können, können sie verborgene Löcher aufweisen. Diese Fehler müssen unbedingt vermieden werden, bereits im Luftdichtigkeitskonzept muss an jeden möglichen Anstoß von Folien gedacht werden.

Im Massivbau ist die luftdichte Ebene der Innenputz, hier hat der Gipser die Verantwortung. Fehler treten auch beim Massivbau auf. Zum Beispiel messen wir eine Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s am Zusammenstoß einer Bodenplatte mit einer schwarzen Bitumendickbeschichtung und dem oben anschließenden Putz. Da merkt man also, die Arbeiten müssen sauber ausgeführt werden und dazu muss man den Gipser entsprechend einschulen.

Die Mehrkosten für Luftdichtigkeit sind meiner Meinung nach Null, denn ein Haus muss ohnehin luftdicht gebaut werden, ob Passivhaus

oder nicht, weil ich dem Bauherrn einfach schuldig bin, ein luftdichtes Haus zu bauen, damit Bauschäden vermieden werden. Die Kosten entstehen in erster Linie in der Planung, nicht auf der Baustelle. Die Baukosten für den Massivbau sind – nach unseren Ausschreibungsergebnissen – günstiger als für den Holzbau. Das lässt sich nicht wegdiskutieren, aber ich finde es sehr ungünstig, dass die Diskussion nur über Kosten geht und nicht über die Qualität, die man für dieses Geld kriegt, auch beim Vergleich von Passivhäusern mit vielleicht normalen Häusern. Aber unser Ausschreibungsergebnis aus Rheinland-Pfalz, kann an anderer Stelle ganz anders aussehen, da der Holzbau bei uns unterrepräsentiert ist und die Massivbauunternehmen einem harten Konkurrenzkampf ausgesetzt sind.

**AUSWIRKUNG DES A/V-
VERHÄLTNISSSES**
Mehrkosten für Passivhaus-Gebäudehülle

A/V	Mehrpreis		pro m ² Wohnfläche	
	unteres von	oberes Niveau bis	unteres von	oberes Niveau bis
0,5	12.976 DM	30.055 DM	100 DM	231 DM
0,6	14.776 DM	34.212 DM	114 DM	263 DM
0,7	16.576 DM	38.370 DM	128 DM	295 DM
0,8	18.376 DM	42.527 DM	141 DM	327 DM
0,9	20.176 DM	46.685 DM	155 DM	359 DM
1	21.976 DM	50.842 DM	169 DM	391 DM
1,1	23.775 DM	54.999 DM	183 DM	423 DM

Abb. 2: Auswirkungen des Oberflächen/Volums-Verhältnis auf die Kosten

Für verschiedene Flächen/Volums-Verhältnisse ergeben sich unterschiedliche Mehrpreise. Beim A:V-Verhältnis von 0,5 ergeben sich Mehrkosten von DM 13.000,- bis DM 30.000,-. Beim A:V-Verhältnis von 1,1 sind es zwischen DM 23.000,- und DM 55.000,-. Pro m² Wohnfläche – und zwar nur auf die Gebäudehülle bezogen ohne Einsparung durch irgendwelche anderen Haustechnikkomponenten – ist das eine Spanne von DM 100,- bis DM 423,-. Wenn das jemand anders rechnet, kommt er vielleicht auf eine Spanne von DM 60,- bis DM 300,-. Wichtig ist mir der Einfluss des A/V-Verhältnisses, nicht nur weil wir durch eine kompaktere Gebäudehülle weniger Energie brauchen, sondern weil eine kompaktere Gebäudehülle natürlich auch weniger Bauteilaußenfläche pro m² Haus hat.

Wenn man über Baukosten redet, kann man die Zahlen nach Bedarf interpretieren: Wenn ich gegen das Passivhaus bin, dann sage ich, ein Passivhaus kostet DM 60.000,- mehr als ein normales Haus. Wenn ich die Sache entsprechend unterstützen will, sage ich, man kann Passivhäuser für DM 10.000,- Mehrpreis in der Gebäudehülle machen und diese Kosten an anderer Stelle einsparen. Wir haben bei Veranstaltungen schon Verschiedenes gehört; Vertreter, die gegen das Passivhaus sind, die ziehen plötzlich horrenden Preise aus der Tasche, die die man niemandem widerlegen kann. Aber das muss immer im Zusammenhang betrachtet werden.

Fazit: Die Vor- und Nachteile von Massivbau gegenüber Holzbau sind weitgehend die gleichen Vor- und Nachteile, wie wir sie bei der Wärmeschutzverordnung haben. Ich habe den Punkt nicht näher erwähnt, aber im Holzbau treten starke Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Räumen auf, d.h. Holzhäuser sind heizungstechnisch schwieriger zu regeln als ein Massivhaus. Allerdings sind die Anforderungen an die Gebäudehülle bei Passivhäusern in Massiv- und in der Holzbauweise zu vertretbaren Kosten realisierbar.

Literatur

- [Horn 1] Horn, Gerrit „Die hochwärmedämmte Gebäudehülle für das Passivhaus“ in: H. Krapmeier, W. Feist (Hg.), Tagungsband der 3. Passivhaustagung, 19./20.02.99 in Bregenz, Dornbirn 1999
- [Horn 2] Horn, Gerrit „Wärmebrückenfreies Konstruieren bei Holzbauweisen“ in W. Feist et. al, Arbeitskeis kostengünstige Passivhäuser Nr. 16, Darmstadt, 1999
- [Horn 3] Horn, Gerrit „Massivbauweise und Holzbauweise im direkten Vergleich - Modellvorhaben kostengünstige Passivhäuser Kaiserslautern“ in W. Feist (Hg.), Tagungsband der 4. Passivhaustagung 10./11.03.2000 in Kassel, Kassel 2000
- [Feist 1] Feist, Wolfgang „Erste Berechnungen zum Anheizverhalten und zur räumlichen Restwärmeverteilung im Passivhaus“ in W. Feist et. al, Arbeitskeis kostengünstige Passivhäuser Nr. 5, Darmstadt, 1997
- [Horn 4] Horn, Gerrit „Werkstattbericht: Passivhäuser Kaiserslautern“ Hochgedämmte Wand- und Dachkonstruktionen im FrameWorks Bausystem, Tagungsunterlagen zu den Planungsseminaren im Juli 2000, TrusJoist (Hg.), Planegg 2000
- [PHPP] Feist, Wolfgang, Eikö Baffia und Jürgen Schnieders: „Passivhaus Projektierungs Paket, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser“, 2. Auflage, Fachinformationen PHI-1999/1, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999

Diskussion

Frage:

Gibt es eine Empfehlung für das Holzhaus oder Massivhaus als Passivhaus?

Horn:

Das fragen Sie Ihren Bauherrn, Ihren Bauträger. Ich selber möchte da keine Empfehlung aussprechen. Letztlicher Ausschlaggrund für Holzhäuser war, dass die Leute, die zu uns kamen und offen dafür waren, ein Passivhaus zu bauen, im Kopf auch ein bisschen Ökologie haben und sich gleichzeitig beim Holzhaus sehr wohl fühlten. Ob das richtig oder falsch ist, wenn ich mich jetzt hinstelle und sage: „Ich finde das Holzhaus ökologischer als das Massivhaus“, dann werde ich genug Gegenargumente von anderen Seiten hören, denn dazu hat jeder Bereich seine Forschungen und das ist genauso wie bei den Kosten. Alles ist möglich. Wir kriegen in allen Bauweisen beim Passivhaus einen guten Standard hin. Ich selbst würde mir aber nur ein Holzhaus bauen – weil ich Zimmerer bin.

Frage:

Ist es richtig, dass der Holzbau planungsintensiver ist und wenn ja werden die Kosten auch honoriert?

Horn:

Nein. Es wird auch der höhere Planungsaufwand für ein Passivhaus nicht honoriert, weil es ja sowieso schwierig ist HOA-Honorare durchzusetzen, das weiß wahrscheinlich jeder hier. Zumindest in Deutschland können wir unsere Honorare ganz schlecht auf dem Markt durchsetzen, weil es immer ein Töchterchen gibt, das auch zeichnen kann und irgendjemanden der unterschreiben kann. Im Kleinobjektbereich (Einfamilienhäuser, Doppelhäuser), wo wir tätig sind, sind normalerweise keine Planer auf der Baustelle. Daher ist es schwer, dem Kunden überhaupt zu vermitteln, dass er an uns DM 30.000,- oder DM 40.000,- Honorar zahlen muss, vor allem wenn er vielleicht für DM 5.000,- irgendwo eine Unterschrift mit ein bisschen Zeichnen bis zum Bauantrag hinkriegt.

D.h. wir kriegen den Mehraufwand nicht so durch, aber wir bauen nicht, wenn wir nicht das HOA-Honorar kriegen. Mit der wachsenden Erfahrung kann man sich das ja leichter machen, denn auch wir haben jetzt im Holzbau einige Systeme, die wir immer wieder bauen und damit ist der Planungsaufwand ähnlich hoch wie bei einem erfahrenden Massivbauer, der auch seine Standarddetails in der Tasche hat. Aber so etwas das erste Mal zu bauen, ist ein immenser Aufwand.

Frage:

Gibt es eine Gegenüberstellung der Mehr- und Minderkosten für das Passivhaus?

Horn:

Ich gehe davon aus, dass es nicht meine Aufgabe ist, wenn ich nur die Gebäudehülle betrachte, dann auch die Minderkosten an anderer Stelle zu untersuchen. Es ist logisch, dass der bessere Schlafsack mit mehr Dämmung mehr kostet als der schlechte Schlafsack, und so ist es bei der Gebäudehülle, die besser ist als andere Gebäudehüllen, dass die mehr kostet. Die Einsparungen wurden insbesondere von Wolfgang Feist, aber auch von unserem Büro schon in vielen Fällen berechnet. Wir berechnen das für jedes Objekt. Wir sparen innerhalb der Finanzierungszeit des Gebäudes durch die niedrigeren Energieaufwände. Selbst bei moderat angenommenen Energiepreissteigerungen über 20 Jahre sparen wir den Mehraufwand auf jeden Fall wieder ein.

Frage:

Wie wirkt sich die Einsparung der Heizung auf die reinen Baukosten eines Passivhauses aus?

Horn:

Tja, also ich bin kein Haustechniker und ich muss ehrlich sagen, im Moment ist die Haustechnik bei unseren Objekten nicht billiger als bei einem herkömmlichen Haus, vor allem wegen der Lüftungsanlagen. Ich kann mir vorstellen, dass die Lüftungsanlagen mit der Zeit billiger werden und so die Gesamtkosten verringert werden können. Wir versuchen das Lüftungssystem so klein wie möglich zu halten. Aber die Kosten der Lüftungsanlage sind mit denen der Heizung durchaus zu vergleichen. Zusätzlich brauchen wir noch eine Warmwassererwärmung. Wir haben in der Regel in den Häusern Solaranlagen, die nicht billiger sind als eine Elektrodurchlauferhitzung. Bei der Haustechnik haben wir bisher noch nicht gespart. Also können wir bei unseren Objekten nur über die Amortisation rechnen, weil wir gute Objekte bauen wollen. Wir erzählen den Bauherren, wenn sie mit einem Mercedes vorfahren, dann sollten sie auch im Mercedes wohnen und nicht im Polo.