

Grundlagenarbeiten zur Erstellung allgemeingültiger Konstruktionsrichtlinien für mechanisch hochbelastbare Verbindungstechniken von Dämmprodukten an Befestigungselemente

Ziel dieses Projektes ist die Erforschung mechanischer Zusammenhänge bei der Befestigung von Dämmstoffen. Konkrete unkonventionelle Befestigungstechniken stehen dabei im Vordergrund der Untersuchungen. Ein Schwerpunkt wird unter anderem im Bereich der Verwendung von Dämmstoffen als verlorene Schalung gesetzt.

Zusammenfassung des Projektes

Die gegenständliche Arbeit befasst sich mit verschiedenen Möglichkeiten zur Auslegung von Befestigungselementen. Die Befestigung von Dämmstoffen an Wände einerseits, sowie die Befestigungsmöglichkeit von Elementen an Dämmstoffe andererseits stellt ein wesentliches Kriterium für den Einsatz und die Benutzerfreundlichkeit derselben dar.

Nach der Durchführung einer Literaturrecherche werden übliche, aber auch unkonventionelle Einbindungsmöglichkeiten des Verbindungselementes in den Dämmstoff systematisch aufgearbeitet. Im nächsten Schritt werden wesentliche Elemente der Verbindung anhand von Versuchsaufbauten auf ihre Belastungsfähigkeit hin getestet, wobei wesentliche Parameter wie Schlussart, Material, Abmessungen und Belastungsgeschwindigkeiten variiert werden. Simultan zur praktischen Prüfung werden durch Simulation mit Hilfe der Methode der finiten Elemente die mechanischen Zusammenhänge bei der Belastung sowie beim Bruch analysiert. Als Eingabeparameter für die Simulationen dienen Kennwerte, welche an den verwendeten Materialien selbst durch Prüfung ermittelt werden. Im letzten Projektabschnitt werden Versuchswandaufbauten in Form eines Systems mit verlorener Schalung hergestellt. Wiederum wird eine Variation der Verbindungsmöglichkeiten durchgeführt. Die Prüfung der Wandaufbauten erfolgt durch Belastung durch den Betondruck bei Verfüllung, durch schalltechnische Untersuchungen anhand der Wandaufbauten sowie durch statische Analysen.

Die durchgeführte Literaturrecherche gibt einen umfassenden Überblick über den Stand der Technik. Es zeigt sich, dass der Materialeinsatz für die Dämmstoffverwendung sich derzeit weitgehend auf die Systeme Mineralwolle und Polystyrol-Hartschaum beschränkt, welche gemeinsam Marktanteile über 95 % aufweisen. Die Weiterentwicklung von Alternativmaterialien lässt jedoch alle Perspektiven offen. Zur Dämmstoffbefestigung auf der Fassade besitzen heute verschiedene Tellerdübelssysteme ausgedehnte Verbreitung. Schienenbefestigungen finden ebenso Verwendung. Im allgemeinen werden die Dämmstoffe zusätzlich mit der Fassade verklebt. Nur in wenigen Ausnahmefällen findet eine rein mechanische Befestigung statt. Eine Reihe von unkonventionellen Befestigungssystemen und -elementen sind in der Patentliteratur und teilweise auch in der veröffentlichten Fachliteratur zu finden. Auf diese Bereiche wird gesondert eingegangen, da sie das Ideenpotential für neue Entwicklungen aufzeigen und die Findung neuer Ideen fördern. Bei Verwendung des Dämmstoffes als verlorene Schalung werden an die Festigkeit des Dämmstoffes und an die Konstruktion der Kraffteinleitung durch das Befestigungselement aufgrund der hohen Belastungen erhöhte Anforderungen gestellt. Es werden verschiedene marktgängige Systeme in der veröffentlichten Literatur beschrieben. Unterschiedlich konzeptionierte Verbindungselemente zwischen Schalungsaußen- und -innenwand finden hier Verwendung.

Durch systematische Aufarbeitung der aufgezeigten Möglichkeiten lassen sich zusammenfassend nachfolgende Schlüsse ziehen: Die Befestigungstechnik an Dämmstoffe reduziert sich immer auf die selbe Problematik. Kräfte sollen möglichst sanft und spannungsspitzenfrei in den Dämmstoff, der eine geringe Steifigkeit und Festigkeit aufweist, eingeleitet werden. Die konstruktive Ausführung lässt eine Fülle an Möglichkeiten zu, welche in Kategorien eingeteilt werden können. Die Gliederung in Kraftschluss, Formschluss und Stoffschluss stellt die wichtigste Möglichkeit zur Kategorisierung konstruktiver Ausführungsvarianten dar.

Aufbauend auf Untersuchungen zum Stand der Technik sowie der systematischen Einteilung des Arbeitsbereiches und der theoretischen Analyse verschiedener Ansätze werden Versuchspläne erstellt. Hier sind insbesondere Versuche mit vereinfachtem Formschluss als auch solche mit vereinfachtem Reibschluss anzuführen. In der Wahl der Untersuchungen wird auf eine breite Anwendbarkeit der Ergebnisse geachtet. Die Ergebnisse werden kontinuierlich mit theoretischen Ansätzen und Resultaten aus Simulationen verglichen.

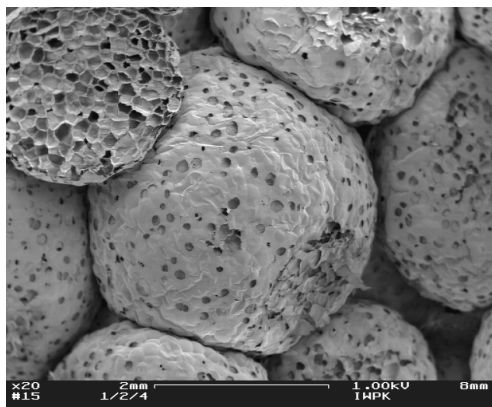


Abbildung 1: Mikrostruktur eines Hartschaumdämmstoffes auf Basis von Polystyrol.

Der Bereich der praktischen Versuche lässt sich im wesentlichen in drei Gruppen teilen. Der erste Bereich dient der Ermittlung der Materialeigenschaften der zu untersuchenden Werkstoffe. Hier werden mit werkstoffwissenschaftlichen Methoden Kennwerte für den Dämmstoff ermittelt, welche später in theoretischen Ansätzen zur Auslegung der Befestigungselemente herangezogen werden. Untersuchungen der Mikrostruktur der Dämmstoffe dienen dem Verständnis der bruchmechanischen Eigenschaften. Es zeigt sich, dass die Fehlstellenstruktur und größere Partikelzwischenräume im Material deutliche Einflüsse auf die Festigkeit des Werkstoffes, jedoch sehr geringe Auswirkungen auf die Steifigkeit bewirken (siehe Beispiel Abbildung 1).

Im nächsten Untersuchungsfeld werden die Grundgeometrien von Konstruktionen erarbeitet, die aus der systematischen Analyse resultieren. Es werden möglichst einfache Geometrien als Befestigungselemente verwendet und auf ihr Verhalten bei mechanischer Belastung hin geprüft. Durch diesen Schritt soll das Verständnis des grundsätzlichen Verhaltens von Befestigungslösungen gefördert werden. In Abbildung 2 ist die Reduktion von verschiedenen Formschlussanwendungen auf die verwendete einfache Geometrie für Versuch und Simulation dargestellt. Gemeinsam mit den ermittelten Materialeigenschaften werden die Ergebnisse verwendet um einfache Modelle für die Auslegung zu entwickeln. Die Versuche zeigen, dass der Einfluss von Geometrieparametern das Niveau der Ausziehkräfte stark verändert. Das Erhöhen der Eindringtiefe in den Dämmstoff zeigt eine deutlich Vergrößerung der Ausziehkräfte, während eine höhere Anzahl an Platten, die als Formschluss wirken, nur Verbesserungen bringt. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

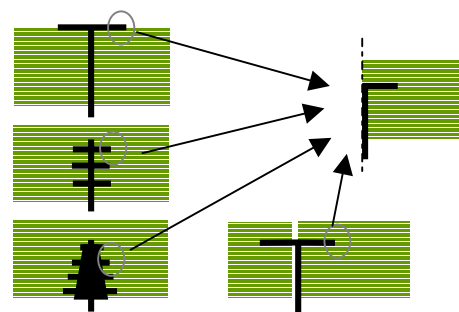


Abbildung 2: Reduktion auf eine vereinfachte Geometrie am Beispiel des Formschlussverhaltens.

Das Auftreten von Bruchkegeln mit einer Neigung von 45° lässt ein Versagen zufolge Schub vermuten. Tatsächlich kann ein klarer Zusammenhang durch Berücksichtigung der Mantelfläche des unter der Kreisplatte eingeschlossenen Zylinders, der maximalen Ausziehkraft und der Schubfestigkeit des Materials gezeigt werden.

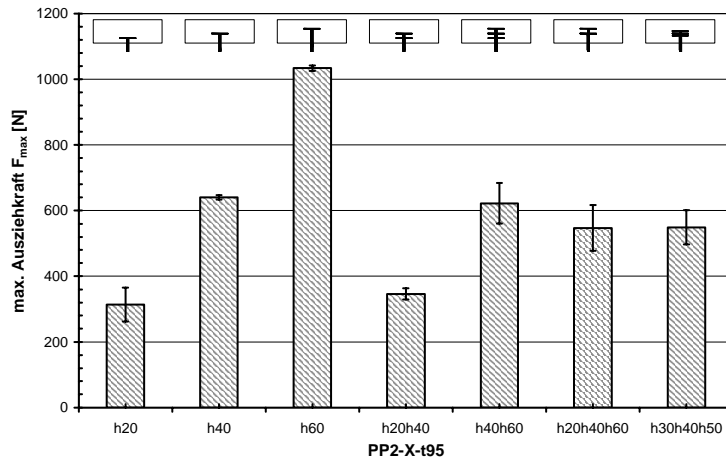


Abbildung 3: Versuche mit 2-fach und 3-fach eingebrachter Platte, entsprechende Ausbruchkegel nach erfolgter Prüfung sowie Ergebnisübersicht.

Mit Hilfe der Simulation mittels der Methode der finiten Elemente ist es möglich Kräfteflüsse und Spannungen für komplexe Geometrien und Materialmodelle zu analysieren. Ein einfaches Modell für den Formschluss, auf das viele Verbindungsvarianten reduziert werden können, wird dargestellt. Es zeigt sich Optimierungspotential durch Variation verschiedener durch die Konstruktion gewählter Parameter. Das gewählte Beispiel anhand des Formschlusselementes soll auf die Möglichkeiten dieses Analyseverfahrens aufmerksam machen. Die Gegenüberstellung von Simulation und Versuch ist in Abbildung 4 dargestellt.

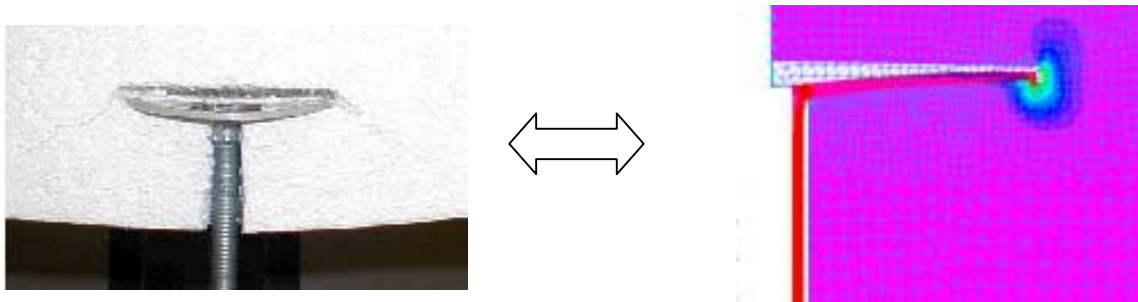


Abbildung 4: Gegenüberstellung von Simulation und realem Versuch.

Aus den Versuchen geht hervor, dass der Einfluss der Materialeigenschaften auf die Ausziehkräfte weitgehend durch die Kennwerte vorhergesagt werden kann. Weiters kann gezeigt werden, dass die Entwicklung empirischer Modelle auf Basis von Materialkennwerten und Geometrieparametern, als ein Ziel dieser Arbeit möglich ist. Die Einführung von Abminderungsfaktoren infolge von auftretenden Spannungsspitzen ist jedoch notwendig. Die Ermittlung der Abminderungsfaktoren ist sowohl durch Versuche als auch durch die Simulation möglich.

Im Reibschlussversuch ergibt sich der Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Reibbeiwert. Beim Einbringen von zylinderförmigen Stiften in den polymeren Schaum entsteht ein Halt durch die Druckkraft auf den Zylinder in Kombination mit den Reibbeiwerten der Materialien. Für die Versuche werden die Stiftmaterialien als auch die Dämmmaterialien und die Verweilzeiten im Dämmstoff variiert. Die Druckspannungen im Dämmstoff bauen sich aufgrund von Relaxationseffekten sehr schnell ab und können daher nur sehr kurz genutzt werden. Bei der Auslegung von Befestigungselementen für polymere Hartschäume ist daher eine zusätzliche Nutzung des Formschlusses immer anzustreben, da Reibeffekte nur kurzfristig wirksam bleiben. Eine widerhakenförmige Ausführung wird als Beispiel angeführt. Abbildung 5 zeigt die Darstellung von Messkurven und eine Abbildung des Versuchsaufbaus.

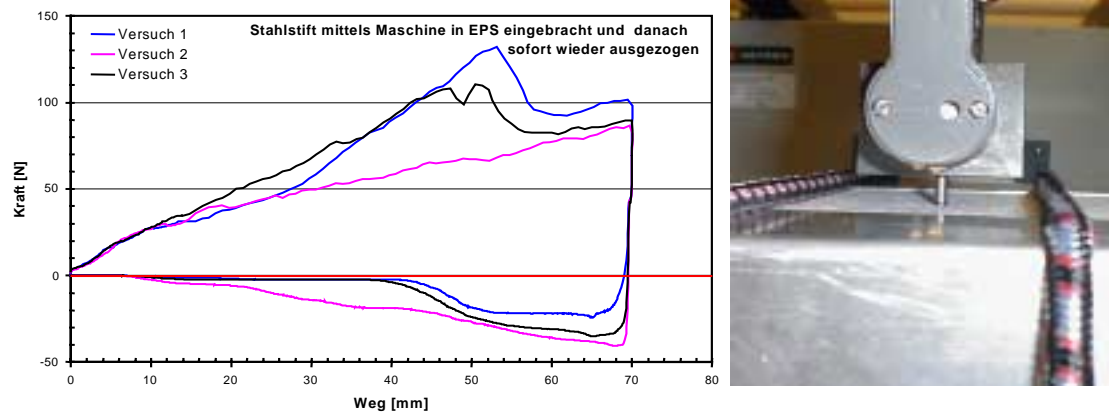


Abbildung 5: Kraft-Wegkurven der durchgeführten Reibschlussversuche.

Den geometriebasierenden Analysen liegt ein bedeutender Aufwand bei der Herstellung von Probekörpern und Prototypen zugrunde.

Zusätzlich zu den grundlegenden Analysen der vereinfachten Geometrien werden komplexere Geometrien von bestehenden Lösungen für Befestigungselemente getestet. Auf diese Weise wird die Übertragbarkeit der zuvor ermittelten Erkenntnisse untersucht. Bei Schraubverbindungen können nur zum Teil Erkenntnisse übertragen werden. Es stellen sich noch einige Fragen, die im weiteren Projektlauf ergründet werden.

Im dritten Untersuchungsfeld werden Wandaufbauten analysiert. Insbesondere betrifft dies die Untersuchung der Anwendbarkeit von Verbindungselementen für verlorene Schalungen. Hier werden zwei Kunststoffvarianten und eine Metallvariante untersucht. Der Gebäudeinnenseite zugewandte Schalungsteil wird durch ein Ziegelement verwirklicht. Auf der Außenseite kommt EPS mit einer Dichte von 30 kg/m^3 zum Einsatz. Die Belastung erfolgt durch den Betondruck bei geschoßhoher Verfüllung. Die verwendeten Verbindungselemente halten den Druck bei mäßigen Verdichtungsmaßnahmen (Stochern und Kopfen) und bei Verwendung eines Betons mit Konsistenz K4 problemlos stand. Beim Verfüllen wird der Druck des Betons durch einen geeigneten Versuchsaufbau mitgemessen. Dadurch kann die wirkliche Belastung der Elemente errechnet werden.

Durch die Wandaufbauten werden Schnitte mit Betonschneidgeräten geführt um die Verfüllqualität zu analysieren. Der Querschnitt ist vollkommen ausgefüllt. Im ausgehärteten Material zeigt sich jedoch, dass das unterschiedliche Setzungsverhalten auf die statischen Eigenschaften bestimmte Einflüsse ausübt. Im Schnittbild ist das Auftreten von schubspannungsbedingten Rissen zu beobachten, deren Auswirkungen es noch weiter zu untersuchen gilt. Anhand der Wandaufbauten werden derzeit am Institut für Hoch- und Industriebau in Graz schalltechnische Untersuchungen durchgeführt. Der Einfluss der Verbindungselemente und der Schichtdicken werden analysiert und theoretischen Untersuchungen gegenübergestellt.

Unabhängig von den Bereichen der Konstruktion werden in einem gesonderten Kapitel die Anforderungen an Befestigungssysteme besprochen. Eigenlast, hygrothermische Belastungen, Windkräfte und Wärmebrücken sind hier die wesentlichen Themen. Für die Ermittlung des entstehenden Betondrucks bei Verwendung von Dämmstoff als verlorene Schalung wird im Verfüllversuch der Fülldruck mitgemessen. In den Ergebnissen zeigen sich massive Abweichungen von Angaben aus der Literatur. Auf Basis der eigenen Erkenntnisse wird ein mathematisches Modell für die Ausbildung des Druckes entwickelt.



Abbildung 6: Bild des Projektteams sowie Querschnitt durch eine der Versuchswandaufbauten.

Das Projekt ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Diese Zusammenfassung bezieht sich auf die erstellten Zwischenberichte und beinhaltet daher noch nicht letzte Erkenntnisse. Es folgen noch Untersuchungen am Wandaufbau als auch klärende Ausziehversuche. Die bisherigen Erkenntnisse haben jedoch bereits wesentliche Erkenntnisse gebracht, die in Produktentwicklungen bereits zum Einsatz kommen.