

FACHREFERAT - IM RAHMEN DES ASCHWANDEN-CAMPUS

ARBO Wärmedämmende Bewehrungselemente Erläuterungen zur Bemessung

Dr. Stefan Lips,
F.J. Aschwanden AG, Lyss

Prof. Dr. Albin Kenel,
Hochschule Luzern Technik & Architektur, Horw

Prof. Dr. Urs Bopp,
Hochschule für Technik der Fachhochschule
Nordwestschweiz, Windisch

Prof. Dr. Marcel Steiner
Hochschule für Technik der Fachhochschule
Nordwestschweiz, Windisch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Bemessungsunterlagen	5
3. Tragsicherheit	7
4. Gebrauchstauglichkeit	11
5. Wärmedämmung	15
6. Trittschallübertragung bei Balkonen und Laubengängen	25
7. Anforderungen an den Feuerwiderstand und das Brandverhalten von Kragplattenanschlüssen	29
8. Beispiel 1	31
9. Bezeichnungen	53

1. Einleitung

Die Herausforderung von wärmedämmenden Bewehrungselementen ist, dass sie nicht nur der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit genügen müssen, sondern auch gute thermische Eigenschaften haben sollten. Würden die thermischen Anforderungen vernachlässigt, wäre es am einfachsten und für die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit am effektivsten, die Platte ohne Wärmedämmung einzusetzen. Dies hätte allerdings gewichtige negative Auswirkungen auf die Energiebilanz des Gebäudes und würde zusätzlich zu erheblichen Einbussen beim Wohnkomfort bis hin zu kostspieligen Bauschäden infolge von Schimmelpilzbildung führen. Deshalb sind in diesen Bereichen wärmedämmende Bewehrungselemente eine gute Möglichkeit, die Innendecke von der Balkonplatte thermisch zu trennen. ARBO Elemente können jedoch nicht nur für Balkonanschlüsse angewendet werden, sondern für jegliche Art von Anschlüssen, bei denen eine thermische Trennung von Stahlbetonteilen gewünscht ist. Deshalb ist grundsätzlich von wärmedämmenden Bewehrungselementen die Rede.

Da die Wärmedämmung in der Regel im Zielkonflikt zu den Anforderungen an den Tragwiderstand (Lastübertragung) und der Gebrauchstauglichkeit (Steifigkeit) steht, gilt es verschiedene Aspekte zu beachten. Bei der Entwicklung und Überarbeitung der ARBO Elemente wurde darauf geachtet, dass Verbesserungen der einen Funktion nicht auf Kosten einer anderen gingen, sondern dass ein ARBO Element optimal auf alle drei Anforderungen Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wärmedämmung abgestimmt ist.

Dieses Dokument erläutert die Projektierungsgrundsätze zum Einsatz von ARBO Elementen in Bezug auf Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wärmedämmung. Obwohl die Elemente gesamtheitlich betrachtet werden müssen, sind diese drei Anforderungen zugunsten der Übersichtlichkeit in drei separate Kapitel unterteilt, wobei jeweils bei bestimmten Punkten auf die anderen Kapitel Bezug genommen wird. Zusätzlich wird im jeweiligen Kapitel auch gezeigt, wie kleine Konstruktionsdetails zum Teil erhebliche Auswirkungen auf die gesamtheitliche Leistungsfähigkeit von wärmedämmenden Bewehrungsanschlüssen haben. Im Weiteren wird in einem Beispiel dargestellt, wie ARBO Elemente mit unterschiedlichen Bemessungsmethoden effizient und wirtschaftlich bemessen werden können.

Diese Dokumentation bezieht sich generell auf die ARBO-400 und ARBO-400Plus Elemente. Vieles ist sinngemäss auch für die ARBO-300, ARBO-500, ARBO-500Plus, ARBO-600 und ARBO-600Plus anwendbar.

2. Bemessungsunterlagen

Die F.J. Aschwanden AG stellt verschiedene Bemessungshilfen für eine sichere und effiziente Bemessung zur Verfügung. Generelle Hinweise sowie Informationen zu den verschiedenen ARBO Typen befinden sich in der Dokumentation „Einführung in die Projektierung und Bemessung von Anschlüssen mit ARBO Bewehrungselementen“. Für die Bemessung der verschiedenen Typen stehen technische Dokumentationen zur Verfügung.

Die technischen Dokumentationen enthalten alle bemessungsrelevanten Daten wie Interaktionsdiagramme zur Bestimmung des Tragwiderstandes, Werte der Steifigkeit der Elemente für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit, Diagramme zur Abschätzung der Zusatzverformung infolge von ARBO Elementen bei Kragplatten sowie Diagramme zur Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten.

Für die statische Bemessung von ARBO Elementen bezüglich Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit mit dem Computer stellt die F.J. Aschwanden AG zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits ist im Aschwanden Softwarepaket die ARBO/CRET Bemessungssoftware enthalten, und andererseits steht auf der Webseite ein ARBO/CRET Plug-In für die AxisVM Finite Element (FE) Programme zum Herunterladen bereit.

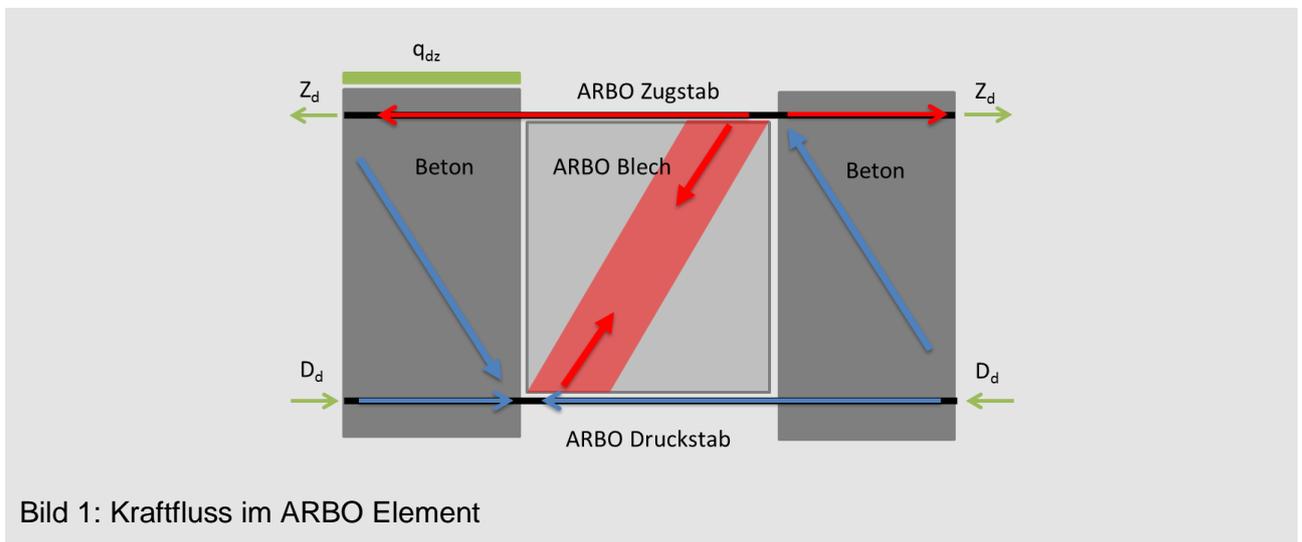
Die ARBO/CRET Software ist ein FE-Programm, bei dem die ARBO Elemente direkt in die Modellierung der zu verbindenden Platten eingebunden werden können. Mithilfe der ARBO/CRET Bemessungssoftware können die ARBO Elemente somit effizient und wirtschaftlich bemessen werden. Die ARBO/CRET Software basiert auf der FE-Software AxisVM, hat jedoch einzelne Begrenzungen im Anwendungsbereich. So sind im Gegensatz zur AxisVM Vollversion keine Schalenelemente verfügbar, und die Anzahl an Elementen und an Lastfällen ist beschränkt. Für Nutzer der AxisVM Vollversion steht auf der Webseite ein ARBO/CRET Plug-In zum Herunterladen zur Verfügung, sodass die Vorteile der ARBO/CRET Software direkt in der AxisVM Software genutzt werden können. In diesem Fall können die ARBO Elemente direkt in die Modellbildung eingebunden werden. Dies ermöglicht eine effiziente Bemessung der ARBO Elemente zusammen mit der generellen statischen Bemessung des Bauwerks.

Zusätzlich steht ein parametrisiertes Schwingungsanalyse-Tool zur Verfügung, um eine allfällige Schwingungsproblematik einfach und exakt auszuschliessen. In diesem Tool sind bereits verschiedene parametrisierte Grundfälle vordefiniert, die eine schnelle Abschätzung der zu erwartenden Eigenfrequenzen zulassen. Dabei wird ebenfalls auf die Berechnungsroutine von AxisVM zurückgegriffen, sodass diese Modelle auch später mit der ARBO/CRET oder der AxisVM Software weiterbearbeitet werden können.

Falls die statische Berechnung in einer anderen FE-Software durchgeführt wird, lassen sich die ARBO Elemente mithilfe der Angaben in den jeweiligen technischen Dokumentationen ebenso einfach und effizient bemessen. Das entsprechende Vorgehen wird ebenfalls in den Bemessungsbeispielen erläutert.

3. Tragsicherheit

Die Tragsicherheit der ARBO Elemente ergibt sich durch den Kraftfluss im Element und die Kraftübertragung in die anschliessende Stahlbetonplatte. Er lässt sich relativ einfach an einem Fachwerkmodell erklären. Das an der Fuge angreifende Biegemoment wird mittels Normalkräften im Druck- und Zugstab aufgenommen. Die Querkraft wird mittels Schublech übertragen. In Bild 1 ist der Kraftfluss dargestellt. Dabei stützt sich die Druckdiagonale in der Stahlbetonplatte auf Seite der Auskrugung auf dem Druckstab ab. Dieser leitet die Last ins Schublech, in dem sich eine Zugstrebe ausbildet. Durch die Querkraft im Zugstab wird schliesslich wieder die Druckdiagonale im Beton ausgebildet. Je nach Randbedingungen (Auflagerbedingungen, Belastungssituation, usw.) ist es auch möglich, dass sich die Druckdiagonale balkenseitig auf dem Zugstab abstützt. Dank der Konstruktionsart der ARBO Elemente ist eine Umkehr der Querkrafteinwirkung ohne Probleme möglich, da die Querkraft in beide Richtungen übertragen werden kann. Dies erleichtert auch den Einbau und die Baukontrolle, da die Elemente auf der Baustelle nicht entsprechend dem Querkraftverlauf ausgerichtet werden müssen.



Da das Schublech keinen direkten Kontakt mit dem Beton hat, was einen erheblichen Vorteil in der Wärmedämmung bringt (siehe Kapitel „Thermische Bemessung“), sind die Zug- und Druckstäbe im Anschlussbereich stark beansprucht. Dies führt dazu, dass mit $\varnothing 14$ mm relativ dicke Stäbe vorhanden sein müssen, um für die generelle Anwendung genügend Widerstand zu bieten. Trotz des relativ grossen Stabdurchmessers hat diese Konstruktionsart allerdings erhebliche Vorteile, wenn nicht nur die Tragsicherheit isoliert, sondern auch die Gebrauchstauglichkeit und die Wärmedämmung mitbetrachtet werden.

Im Vergleich zur Konstruktionsart, bei der die Querkraft direkt vom Beton in das Schublech übertragen wird, weisen ARBO Elemente aus statischen Gründen grössere Zug- und Druckstäbe auf. Diese grösseren Stabdurchmesser führen zu einer erhöhten Biegesteifigkeit, was ein besseres Durchbiegungs- und Schwingungsverhalten mit sich bringt. Zusätzlich bietet die Trennung von Beton und Schublech eine erheblich bessere Wärmedämmung, da die Wärme nicht direkt vom Beton in das Schublech übertragen wird. Wie im Kapitel „Thermische Bemessung“ gezeigt wird, nützt es bei Konstruktionsarten, bei denen die Schubleche in die Stahlbetonplatten verlaufen, aus

thermischer Sicht auch nicht viel, dass der Durchmesser der Zug- und Druckstäbe reduziert wird. Die ARBO Konstruktionsart ist deshalb rein statisch betrachtet nicht die bestmögliche Lösung; bei gesamtheitlicher Betrachtung (Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wärmedämmung) ist sie jedoch eine optimale Lösung für wärmedämmende Bewehrungsanschlüsse.

Ein entscheidender Nachweis für die Bemessung ist das Knicken des Druckstabes. Dies ist vor allem bei grösseren Dämmstärken und hohen Biegebeanspruchungen massgebend. Obwohl das Schubblech die Stabilität des Druckstabes etwas verbessert, reduziert der Knickwiderstand in der Regel den maximalen Biegewiderstand in Abhängigkeit der Dämmstärke.

Eine weitere Begrenzung der Tragfähigkeit ist die Querkrafttragfähigkeit der anschliessenden Stahlbetonplatten. Wie bei den Aschwanden Produkten üblich, gilt der angegebene Bemessungswiderstand nicht nur für die Elemente selber, sondern auch für die Lasteinleitung in die anschliessenden Bauteile. Deshalb wird in den angegebenen Bemessungswiderständen (Diagramme/FE-Software) der Querkraftwiderstand der Stahlbetonplatten mitberücksichtigt.

Bemessung mit Diagrammen

Für eine einfache Vordimensionierung und Bemessung stehen in der Aschwanden Dokumentation Bemessungsdiagramme zur Verfügung. Dabei zeigt das Interaktionsdiagramm den Querkraftwiderstand und den Biegewiderstand an. Der Tragsicherheitsnachweis ist erfüllt, wenn der Punkt der Einwirkungen (m_d , n_d) innerhalb der Interaktionskurve liegt.

Generell ist der Widerstand vom gewählten Elementabstand abhängig. Die Kurven 1 bis 11 zeigen den Widerstand für die Elementabstände von 0.25 m bis 1.0 m. Generell wird empfohlen, den Elementabstand von 1.0 m nicht zu überschreiten.

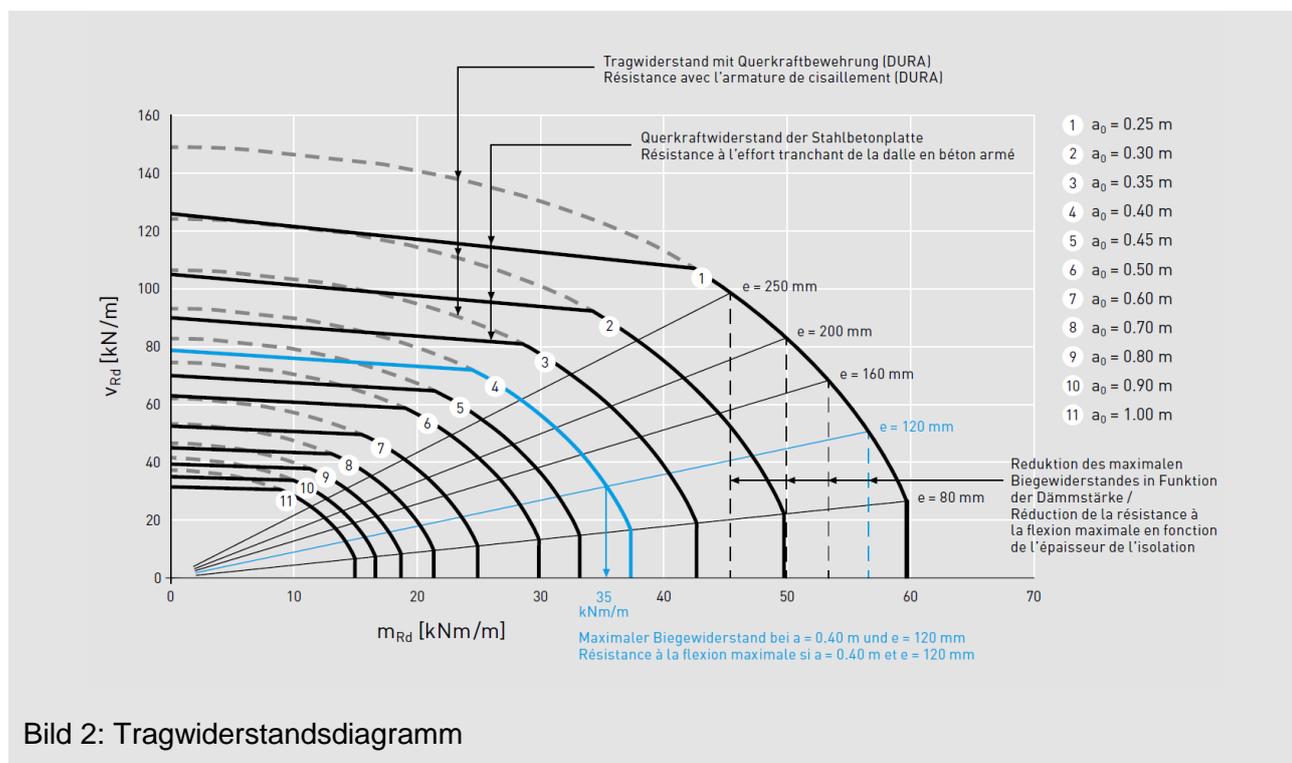


Bild 2: Tragwiderstandsdiagramm

Zusätzlich ist im Diagramm der maximale Biege­widerstand in Ab­hän­gig­keit der Dämm­stärke er­si­cht­lich. Dabei gilt zu be­ach­ten, dass die aus­ge­zo­ge­nen schwarzen Linien grun­dsätz­lich für eine Dämm­stärke von 80 mm gel­ten. Bei grösseren Dämm­stärken kann in­folge des Knick­wider­stands des Druck­stabs eine Reduk­tion des maximalen Biege­wider­stands vor­han­den sein. Für einen Element­ab­stand von 0.25 m ist diese Be­gren­zung mittels der gestrichel­ten ver­ti­kalen Linien dar­ge­stellt. Bei anderen Element­ab­ständen er­gibt sich der maximale Biege­wider­stand mittels des Schnittpunkts des Interak­tions­diagramms für den ent­spr­echen­den Element­ab­stand und der strahlen­förmigen Linie für die ent­spr­echen­de Dämm­stärke.

Weiter sind die Kurven auf die Quer­kraft­trag­fä­hig­keit der an­schlies­sen­den Platten be­grenzt. Das heisst, die Kräftein­lei­tung der ARBO Elemente in die an­schlies­sen­den Platten ist sich­er­ge­stellt. In der Regel wird in den Balkon­platten keine Quer­kraft­be­weh­rung einge­legt. Sollte es den­noch der Fall sein, dass z.B. DURA Körbe ver­wen­det wer­den, kann ein er­höhter Wider­stand er­reicht wer­den. Dieser er­höhte Trag­wider­stand ist, falls vor­han­den, in den Diagrammen als grau­gestrichelte Linie dar­ge­stellt. In diesem Fall sind die DURA Körbe mit­hil­fe der DURA Software für Quer­kraft bei Platten zu be­mes­sen.

Bemessung mit FE- Software

Die optimale Leistungs­fä­hig­keit in Bezug auf Tragsicher­heit, Ge­brauch­stau­g­lich­keit und Wärmedämmung kann er­reicht wer­den, wenn nur dort Elemente ver­wen­det wer­den, wo sie auch tat­säch­lich er­for­der­lich sind. Deshalb haben die ARBO Elemente eine Breite von nur 25 cm und können somit beanspruchungs­ab­hän­gig ange­ord­net wer­den. Um die einzelnen Abstände be­stim­men zu können, emp­fiehlt sich die Berechnung mittels Finite Elemente (FE) Software. Hierfür stellt Aschwanden ver­schiedene Mög­lich­keiten zur Ver­fü­gung.

Die ARBO/CRET Software als Bestandteil des Aschwanden Softwarepakets ist eine in der Element- und Lastfallanzahl be­grenzte FE-Software. Grundlage dabei ist die AxisVM Software. Falls bereits eine AxisVM Vollversion vor­han­den ist, kann das ARBO/CRET Plug-In direkt in diese ge­laden wer­den (Download-Link auf der Aschwanden Web­sei­te ver­fü­gbar). Die Anwendung der ARBO/CRET Software und des ARBO/CRET Plug-Ins ist grun­dsätz­lich gleich. Es wird deshalb der Einfachheit halber ver­zich­tet, Ab­bil­dungen aus beiden Programmen dar­zu­stellen, obwohl einzelne Symbole in der jeweiligen Version anders aus­se­hen können.

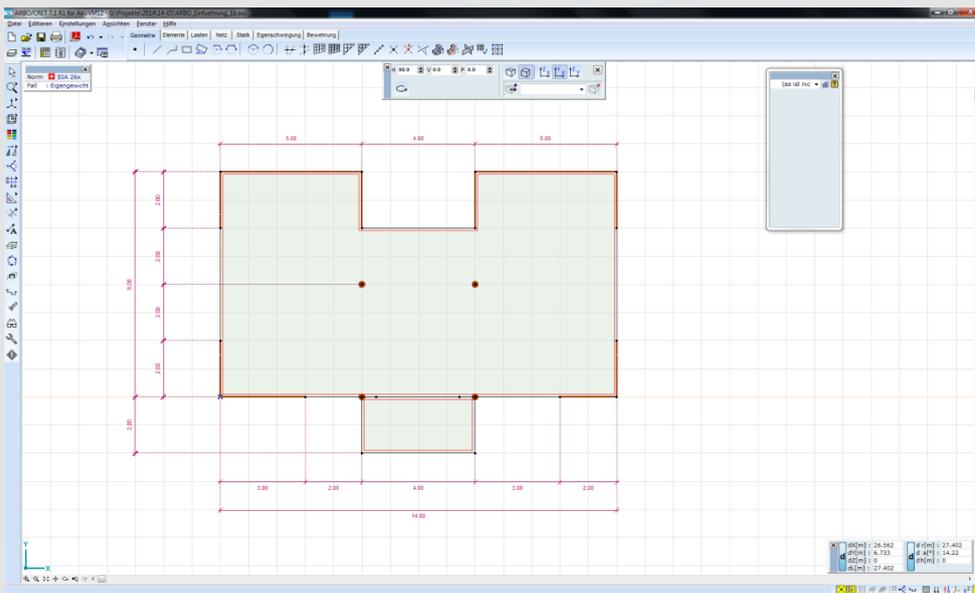


Bild 3: ARBO/CRET Software

4. Gebrauchstauglichkeit

Bei Kragplatten sind für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit einerseits die Durchbiegungen und andererseits das Schwingungsverhalten zu betrachten. Für beide Nachweise ist im Wesentlichen die Steifigkeit der Struktur bzw. des Bewehrungselements im Dämmbereich massgebend. Dabei ist vor allem die Biegesteifigkeit entscheidend.

Um geringe Durchbiegungen sowie ein akzeptables Schwingungsverhalten zu erreichen, ist eine möglichst biegesteife Verbindung im Dämmbereich das Ziel. Dies steht, wie bei der Tragsicherheit, grundsätzlich im Widerspruch zu einer guten Wärmedämmung. Durch eine geeignete Konstruktionsart kann jedoch auch in diesem Fall die Steifigkeit soweit erhöht werden, dass immer noch eine optimale Wärmedämmung vorhanden ist.

Bezüglich der Biegesteifigkeit weist die Konstruktionsart der ARBO Elemente zwei Hauptmerkmale auf. Zum einen sind die Druck- und Zugstäbe mit einem Schublech verbunden. Infolge dieser Mitwirkung der Bleche wird die Biegesteifigkeit erhöht. Zum anderen wird sie erhöht, indem die Schubleche nicht in die Stahlbetonplatte geführt werden. Was im ersten Augenblick wie ein Widerspruch klingt, lässt sich relativ einfach im nachfolgenden Abschnitt erklären. Dabei muss man allerdings die beiden anderen Anforderungen an wärmedämmende Bewehrungsanschlüsse betrachten: die Tragsicherheit und die Wärmedämmung.

Falls das Schublech in die Stahlbetonplatte reicht, kann man eine direkte Krafteinleitung erreichen. Dies führt dazu, dass im Vergleich zu ARBO Elementen die Durchmesser der Druck- und Zugstäbe verringert werden können. Weiter muss bei Konstruktionsarten, bei denen die Schubleche in die Platte ragen, infolge der thermischen Anforderungen die Anzahl der Schubleche im Vergleich zu ARBO Elementen möglichst reduziert werden. Wie im Kapitel „Wärmedämmung“ gezeigt wird, ist jedoch selbst mit einer Reduktion der Stabdurchmesser und der Anzahl von Schublechen die Wärmedämmung erheblich schlechter als bei ARBO Elementen. Zusätzlich haben diese Massnahmen einen entscheidenden Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit. Eine Reduktion der Durchmesser der Druck- und Zugstäbe sowie eine Reduktion der Anzahl von Schublechen führen unweigerlich zu einem Verlust an Biegesteifigkeit. Daraus resultieren schliesslich grössere Durchbiegungen und ein schlechteres Schwingungsverhalten.

Bild 4 stellt die Biegesteifigkeit in Abhängigkeit der Dämmstärke und Konstruktionsart für eine Elementhöhe von 200 mm dar. Es zeigt sich, dass mit Schublech und Bewehrungsstäben mit \varnothing 14mm eine Biegesteifigkeit im Elementbereich beim betrachteten Element (ARBO-420), je nach Dämmstärke, von 575 – 675 kNm² erreicht wird. Ohne Schublech reduziert sich dieser Wert um ca. 20%. Werden auch noch die Stabdurchmesser verringert, ergeben sich Steifigkeiten, die ca. 40% tiefer liegen. Dies hat einen direkten Einfluss auf das Verformungs- und Schwingungsverhalten.

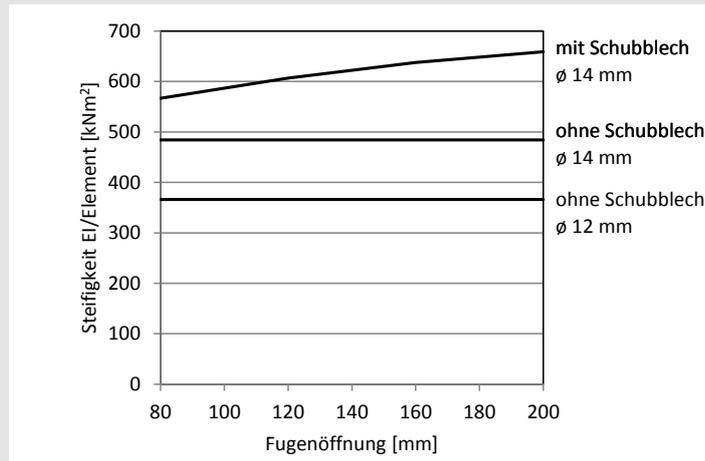


Bild 4: Steifigkeit in Abhängigkeit der Dämmstärke

Weiter ist in Bild 4 zu sehen, dass die Biegesteifigkeit der ARBO Elemente von der Dämmstärke abhängig ist. Mit zunehmender Dämmstärke steigt die Biegesteifigkeit (EI) infolge der Mitwirkung des Schublechs. Im Bereich der ARBO Elemente gibt es im Wesentlichen zwei Zonen: einen langen Bereich mit dem Schublech mit grosser Steifigkeit und einen kurzen Bereich zwischen Schublech und Betonkante mit freier Stablänge mit geringer Steifigkeit. Bei geringen Dämmstärken ist der Anteil der freien Stablänge des Zug- und Druckstabs zwischen Schublech und Betonkante im Verhältnis grösser als bei grossen Dämmstärken. Daher ist bei grösseren Dämmstärken die mittlere Biegesteifigkeit grösser als bei geringen Dämmstärken. Da allerdings die im Vergleich zur Stahlbetonplatte etwas geringeren Biegesteifigkeiten über die gesamte Dämmstärke angesetzt werden muss, ergeben sich bei grösseren Dämmstärken trotz der erhöhten Biegesteifigkeit etwas grössere Verformungen bzw. etwas geringere Rotationssteifigkeiten.

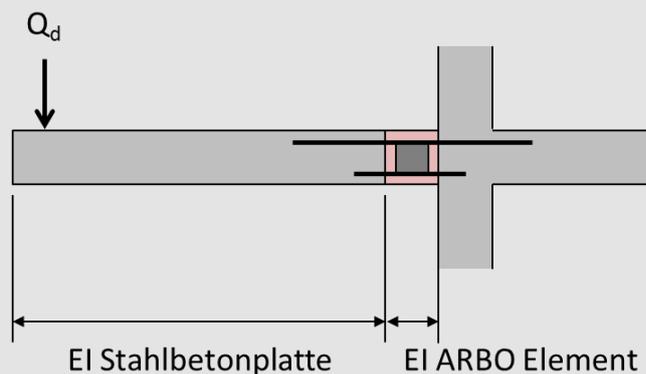


Bild 5: Biegesteifigkeiten entlang der Kragplatte

Falls für die FE-Modellierung die Rotationssteifigkeit erforderlich sein sollte, kann diese anhand der nachfolgenden Formel bestimmt werden.

$$K_{xx} = EI_{EL} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{e}$$

wobei K_{xx} die Rotationssteifigkeit parallel zur Fugenrichtung, EI_{EL} die Biegesteifigkeit des ARBO Elements, a der ARBO Elementabstand und e die Dämmstärke ist.

Dämmstärke Épaisseur de l'isolation	Für linear-elastische FEM Berechnung (ungerissen) Pour un calcul FEM linéaire-élastique (non fissuré)	Für nichtlineare FEM Berechnung (gerissen) Pour un calcul FEM non linéaire (fissuré)
e = 80 mm	$EI_{EL} = 1125 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 275 \text{ kNm}^2$
e = 120 mm	$EI_{EL} = 1175 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$
e = 160 mm	$EI_{EL} = 1225 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$
e = 200 mm	$EI_{EL} = 1250 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$
e = 250 mm	$EI_{EL} = 1250 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$

Bild 6: Angaben der Elementsteifigkeiten in der technischen Dokumentation

Die Biegesteifigkeiten der ARBO Elemente sind in den entsprechenden technischen Dokumentationen zu finden. Hier wird jeweils zwischen zwei Biegesteifigkeiten unterschieden. In einer ersten Spalte sind die Biegesteifigkeiten für eine linear-elastische Berechnung der Verformungen angegeben. Dabei wird der Stahlbetonquerschnitt ungerissen modelliert. Für den Verformungsnachweis werden anschliessend die linear-elastisch berechneten Verformungen erhöht, um die Rissbildung und Langzeiteffekte wie Kriechen zu berücksichtigen. Dies erfolgt üblicherweise anhand der Gleichung (102) der Norm SIA 262:2013.

$$w = \frac{1 - 20\rho'}{10\rho^{0.7}} \cdot (0.75 + 0.1\varphi) \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^3 \cdot w_c$$

wobei w_c die linear-elastisch bestimmte Durchbiegung ist.

Falls der gerissene Querschnitt und die Langzeiteffekte bereits bei der Modellierung verwendet werden, muss die Biegesteifigkeit der ARBO Elemente aus der zweiten Spalte eingesetzt werden. Während für die Berechnung von Durchbiegungen normalerweise die Stahlbetonquerschnitte ungerissen modelliert werden, muss bei einer Schwingungsanalyse zwingend der gerissene Stahlbetonquerschnitt modelliert werden. Das heisst, bei einer Schwingungsanalyse ist für die ARBO Elemente immer die angegebene Biegesteifigkeit für eine nicht-lineare/gerissene FEM Berechnung einzusetzen. Das detaillierte Vorgehen für eine Schwingungsanalyse ist aus den Beispielen ersichtlich.

Bei Kragplatten kann mithilfe von Diagrammen in den entsprechenden technischen Dokumentationen vereinfachend die Zusatzverformungen infolge der ARBO Elemente abgeschätzt werden. Bild 7 zeigt ein Beispiel eines Diagramms. Dabei ist der Wert zur Bestimmung der

Zusatzverformung in Abhängigkeit des Elementabstands und der Dämmstärke angegeben. Der aus dem Diagramm ausgelesene Wert wird anschliessend mit dem einwirkenden Biegemoment auf Gebrauchsniveau ($m_{d,ser}$) und der Kragplattenlänge (l) multipliziert. Da dieser Wert nur die Zusatzverformung infolge der ARBO Elemente angibt, muss für die totale Durchbiegung der Kragplatte die Durchbiegung der Betonplatte alleine berechnet und addiert werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass diese Werte nur Abschätzungswerte sind. Je nach Kragplattengeometrie und Randbedingungen können die tatsächlichen Werte von den Diagrammwerten abweichen. Für den eigentlichen Durchbiegungsnachweis empfiehlt sich daher eine FE-Berechnung.

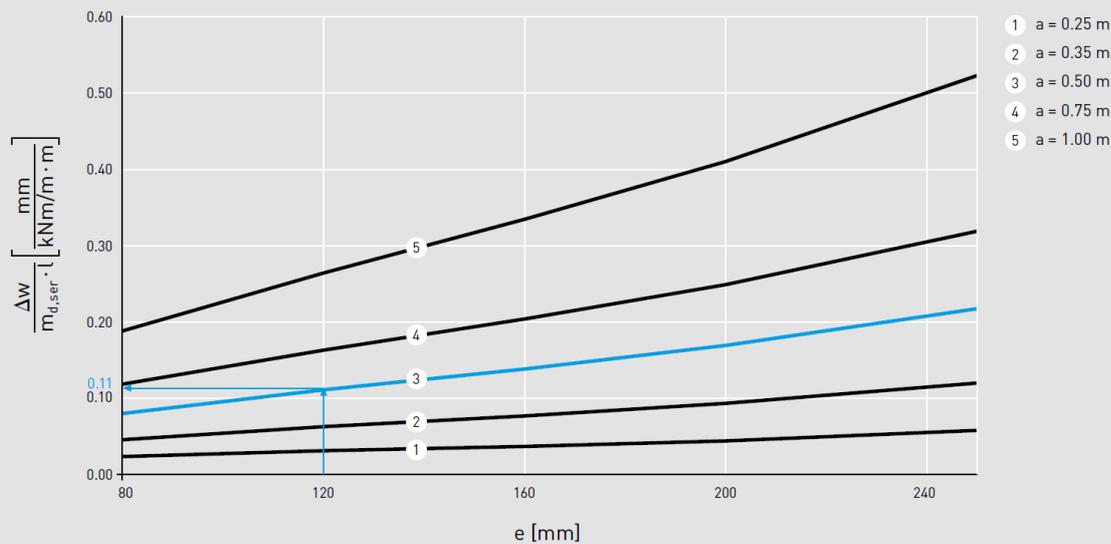


Bild 7: Zusatzverformungen aufgrund von ARBO Elementen bei Kragplatten

5. Wärmedämmung

Die Ansprüche an die wärmetechnischen Eigenschaften von Gebäuden sind in den letzten Jahren stark gestiegen und werden auch in Zukunft immer wichtiger. Dies betrifft in erster Linie die Anforderungen an die Wärmedämmung bei der Gebäudehülle. Allerdings werden mit besserer Dämmung von Dach, Wänden, Türen und Fenstern die Einflüsse von Wärmebrücken auf den Heizenergieverbrauch eines Gebäudes erhöht.

Als Wärmebrücke wird ein Bereich der Gebäudehülle bezeichnet, durch den die Wärme schneller nach aussen transportiert wird, als durch die angrenzenden Bauteile. Im Bereich des Stahlbetonbaus treten Wärmebrücken dort auf, wo eine Kraftübertragung zwischen einem wärmegeprägten und einem nicht wärmegeprägten Stahlbetonbauteil notwendig ist. Ein klassisches Beispiel ist die zur Kragplatte durchlaufende Deckenplatte. Ein weiteres Beispiel ist die Verbindung beim Übergang von unbeheizten (z.B. Keller) zu beheizten Bereichen (z.B. Wohnbereich).

Für die Überprüfung der Wärmedämmung bei Wärmebrücken ist der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient (ψ -Wert) massgebend. Er berücksichtigt die zusätzliche Verlustleistung einer längenbezogenen Störung. Dabei handelt es sich um einen Korrekturwert des Wärmetransports, ausgehend von einem ebenen und ohne Wärmebrücken gedachten Bauteil.

Für den Nachweis des Heizenergiebedarfs stehen gemäss der Norm SIA 380/1:2009 zwei verschiedene Methoden zur Verfügung. Einerseits kann ein Nachweis mittels Systemanforderungen und andererseits ein Nachweis mit Einzelbauteilanforderungen erfolgen. In der Regel ist ein Nachweis mit Einzelbauteilanforderungen einfacher, da beim Systemnachweis die Berechnung des Heizenergiebedarfs notwendig ist. Demgegenüber sind beim Einzelbauteilnachweis lediglich die Grenzwerte der Norm einzuhalten, bzw. die Zielwerte der Norm anzustreben.

Gemäss der Norm SIA 380/1:2009 Tabelle 3 gelten bezüglich Wärmebrücken für den Einzelbauteilnachweis bei Auskragungen die Grenz- und Zielwerte für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizient (ψ -Wert) von 0.30 W/(m·K) bzw. 0.15 W/(m·K). Da allerdings der Wärmedurchgang bei Wärmebrücken auch beim Systemnachweis berücksichtigt werden muss, sollten für einen optimalen Energienachweis diese Grenzwerte auch bei einem Systemnachweis eingehalten, bzw. die Zielwerte angestrebt werden.

Der Wärmedurchgang bzw. Heizenergieverbrauch ist jedoch nicht das einzige Kriterium für die thermische Bemessung. Neben der energetischen Betrachtung sind auch das Raumklima und die Feuchtebildung zu beachten, die für den Wohnkomfort und das Risiko von Schimmelpilzbildung entscheidend sind. Diese Anforderungen sind in der Norm SIA 180 geregelt. Da diese Kriterien bei wärmedämmenden Bewehrungselementen selten massgebend werden (bei durchgehenden Stahlbetonbauteilen ist jedoch Vorsicht geboten), wird in diesem Dokument nicht weiter darauf eingegangen.

Thermische Berechnungen

Für die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (ψ -Wert) sind 3D FE-Berechnungen notwendig. Die ARBO Elemente wurden mithilfe von thermischen Berechnungen weiterentwickelt, sodass eine optimale Wärmedämmung ohne Kompromisse bei der Tragsicherheit oder der Gebrauchstauglichkeit entsteht.

Um die thermischen Vorteile von ARBO Elementen zu zeigen, wurden verschiedene Einflüsse wie Dämmstärken und Elementabstand untersucht. Zusätzlich werden Resultate von zwei weiteren Konstruktionsarten gezeigt. Diese Konstruktionsarten wurden im Rahmen der Weiterentwicklung der ARBO Elemente untersucht. Ähnlich aussehende Elemente auf dem Markt müssen nicht zwingend dieselben Resultate liefern.

Um den Einfluss der Modellbildung zu untersuchen, wurden als Grundlage zwei verschiedene Modelle verwendet. Die nachfolgend dargestellten Vergleichsrechnungen erfolgten, mit Ausnahme des Vergleichs des Elementabstands, mit Modell A. Modell B entspricht prinzipiell dem Modell, das zur Berechnung für die thermischen Werte in den technischen Dokumentationen verwendet wurde.

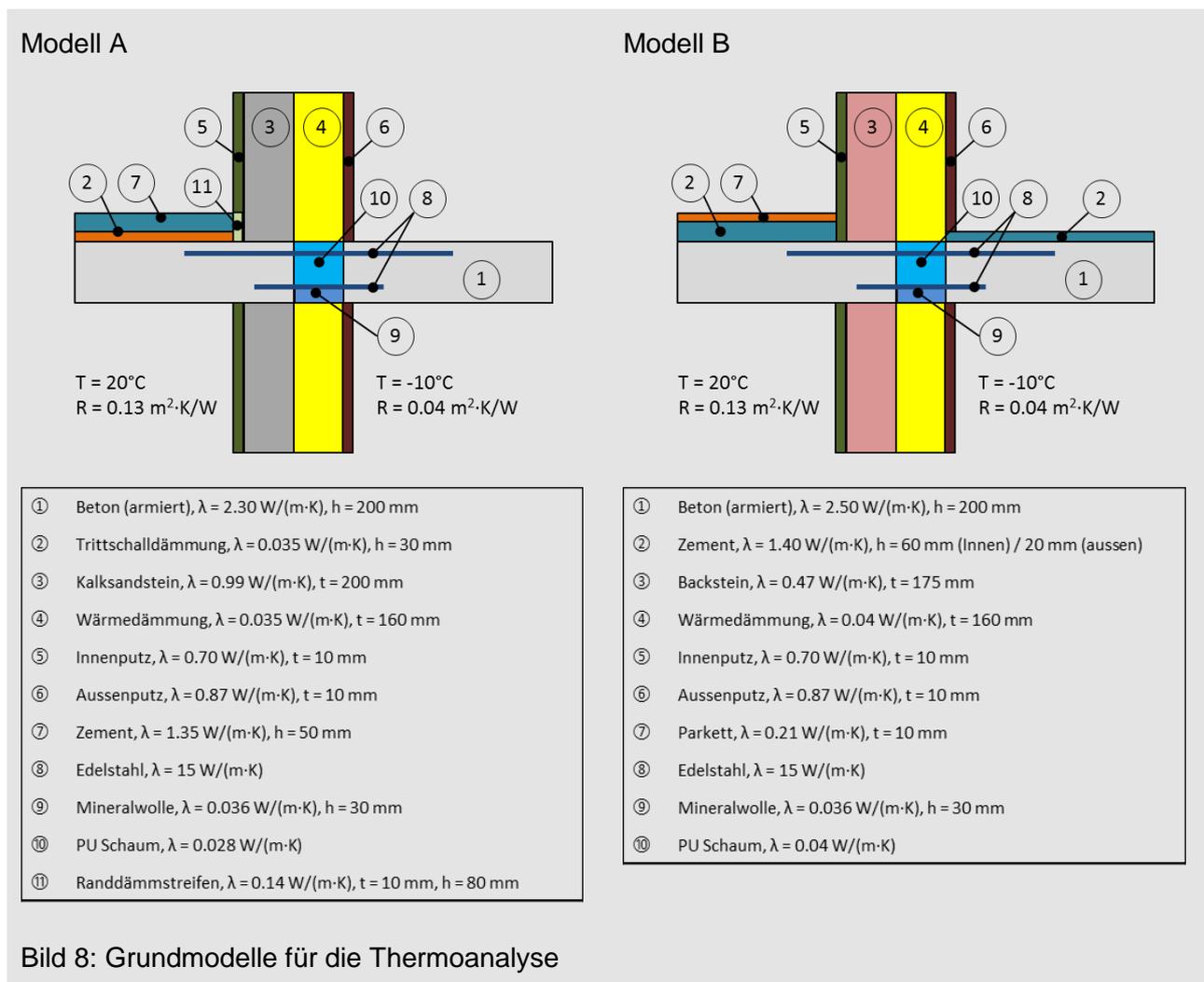


Bild 8: Grundmodelle für die Thermoanalyse

Modell A ist gegenüber Modell B, das bereits früher als Grundlage für thermische Berechnungen von ARBO Elementen diente, aktualisiert. Das Modell A wurde in Anlehnung an das Bemessungsmodell des deutschen Passivhaus Instituts erstellt. Im Gegensatz zu diesem wurde allerdings die Dämmstärke reduziert und Kalksandstein anstatt Stahlbeton als Wandmaterial verwendet. Im Vergleich zu Modell B wurden ebenfalls verschiedene Wärmeleitfähigkeiten aktualisiert. Für die Stahlbetonplatte wird im Modell A $\lambda = 2.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ anstatt $\lambda = 2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ benützt. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahlbetonplatten ist generell vom Bewehrungsgehalt abhängig. In der Regel wird für Balkonplatten ein Wert von $2.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ verwendet. Deshalb wurde dieser Wert angepasst. Eine weitere Aktualisierung betrifft die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmschicht der Wand und die Wärmedämmschicht im Elementbereich. Bei der Wand wird von einem heutzutage üblichen Wärmedämmmaterial mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0.035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ anstatt $\lambda = 0.040 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ausgegangen. Im Elementbereich werden im Modell A der aktuell verwendete PU-Schaum mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0.028 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ modelliert. In der Berechnung wurde früher vereinfachend auch für die Wärmedämmung im Elementbereich die Wärmeleitfähigkeit der Wanddämmung $\lambda = 0.04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ eingesetzt. Dies erklärt neben den geometrischen und konstruktiven Änderungen in den Modellen auch die materialspezifischen Änderungen.

Einfluss des Grundmodells

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient gilt grundsätzlich nur für das untersuchte Modell. Um in Erfahrung zu bringen, wie gross der Einfluss von unterschiedlichen Grundmodellen ist, wurden zwei verschiedene Modelle untersucht, die in Bild 8 dargestellt sind. Obwohl sich der U-Wert der Wandaufbauten (Modell A: $0.20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Modell B: $0.22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) der beiden Modelle unterscheidet und verschiedene Konstruktionsdetails und Materialkennwerte verwendet wurden, ergibt sich nur ein geringfügiger Unterschied von ca. 5% für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten. Aufgrund dieser Untersuchung lässt sich ableiten, dass die in den technischen Dokumentationen dargelegten Wärmedurchgangskoeffizienten auch für ähnliche Wandaufbauten in genügender Genauigkeit verwendet werden können.

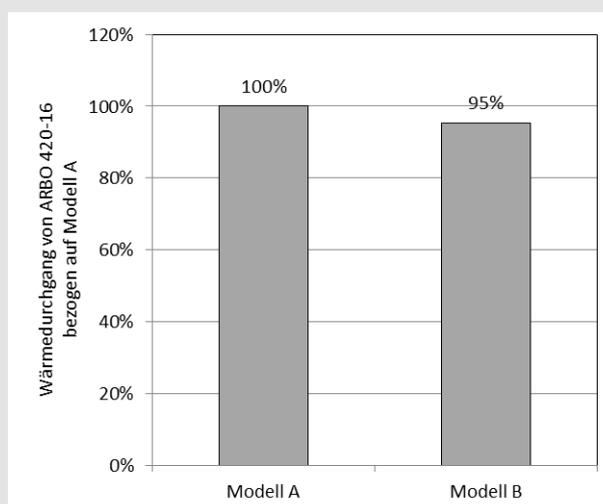


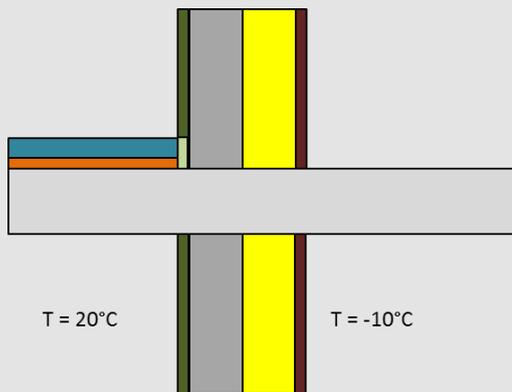
Bild 9: Vergleich des Wärmedurchgangs bei verschiedenen Grundlagenmodellen bezogen auf ein ARBO 420-16 Element

Bild 10 zeigt die verschiedenen untersuchten Konstruktionsarten. Um die Wirksamkeit von wärmedämmenden Bewehrungselementen zu zeigen, wurde ebenfalls eine durchgehende Platte modelliert. Weiter wurde je ein ARBO-420 und ARBO-420Plus Element mit einer Dämmstärke von 8 cm modelliert, die vielfach standardmässig verwendet wird. Aschwanden empfiehlt allerdings, im Elementbereich dieselbe Dämmstärke wie im Wandbereich zu verwenden, um eine der heutigen Zeit entsprechende Wärmedämmung zu garantieren. Deshalb wurde zusätzlich je ein ARBO-420 und ARBO-420Plus Element mit einer Dämmstärke von 16 cm modelliert.

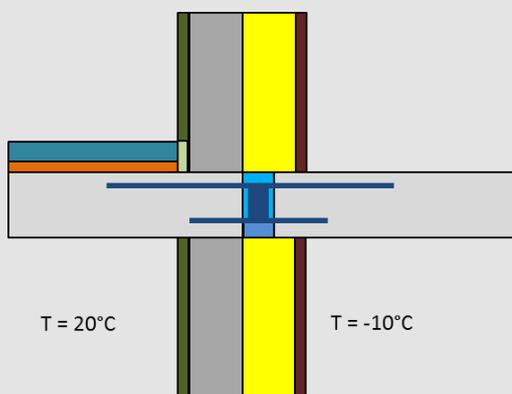
Die ARBO Elemente, insbesondere die ARBO Plus Elemente, sind durch ihre Konstruktionsart für eine optimale Wärmedämmung ausgelegt und dienen so für eine energiesparende Konstruktion. Dies sollte letztlich auch das Hauptziel von wärmedämmenden Bewehrungselementen sein. Dabei sind verschiedene Konstruktionsdetails entscheidend, um diese hervorragenden thermischen Eigenschaften zu erreichen. Wesentlich ist vor allem, dass das Schublech nicht im direkten Kontakt mit dem Stahlbeton ist und im Elementbereich standardmässig PU Schaum mit einer Wärmedämmung von $\lambda = 0.028 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ verwendet wird.

Als Vergleich wurden zwei weitere Berechnungen durchgeführt, um die Einflüsse der Konstruktionsdetails zu zeigen. Bei der Konstruktionsart 1 wurde das Blech bis zur Betonkante geführt und die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung auf $\lambda = 0.040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ erhöht. Bei der Konstruktionsart 2 wurde das Schublech bis in die Stahlbetonplatte hineingeführt und die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung weiter auf $\lambda = 0.045 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ erhöht. In allen Fällen wurden die Anzahl und die Durchmesser der Zug- und Druckstäbe sowie die Anzahl der Schubleche so bestimmt, dass eine vergleichbare Lastübertragung möglich ist. Bei der Konstruktionsart 2 konnten infolge der direkten Lasteinleitung ins Schublech die Durchmesser der Zug- und Druckstäbe auf 12 mm verkleinert und die Anzahl der Schubleche im Vergleich zu den ARBO Elementen halbiert werden.

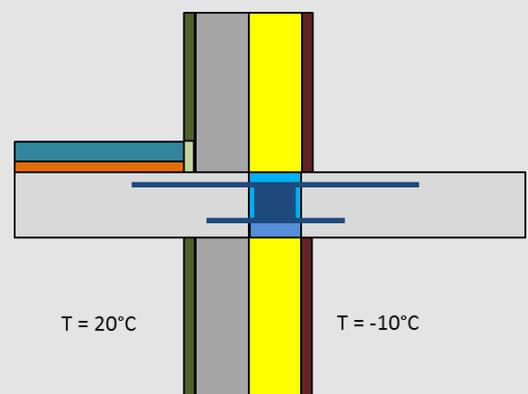
Durchgehende Platte



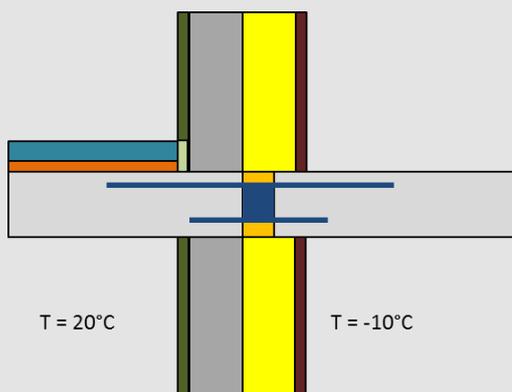
ARBO-420-08 / ARBO-420Plus-08
(Breite Isolation beim Element e = 80mm)



ARBO-420-16 / ARBO-420Plus-16
(Breite Isolation beim Element e = 160mm)



Konstruktionsart 1
Schubblech an die Betonkante
(Breite Isolation beim Element e = 80mm)



Konstruktionsart 2
Schubblech in Betonplatte
(Breite Isolation beim Element e = 80mm)

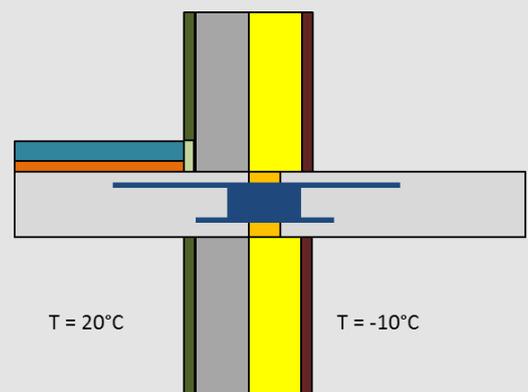


Bild 10: Verschiedene untersuchte Konstruktionsarten

Einfluss ARBO Elemente

Bild 11 zeigt den Vergleich von ARBO Elementen mit einer Dämmstärke von 8 cm und einem Elementabstand von 0.35 m mit einer durchbetonierten Stahlbetonplatte. Es zeigt sich, dass die ARBO Elemente einen erheblichen Gewinn an Wärmedämmung bringen. Der Wärmedurchgang durch die Wärmebrücke ist bei einer durchbetonierten Platte mehr als dreimal so gross als bei einem mit ARBO Elementen gedämmten Kragplattenanschluss.

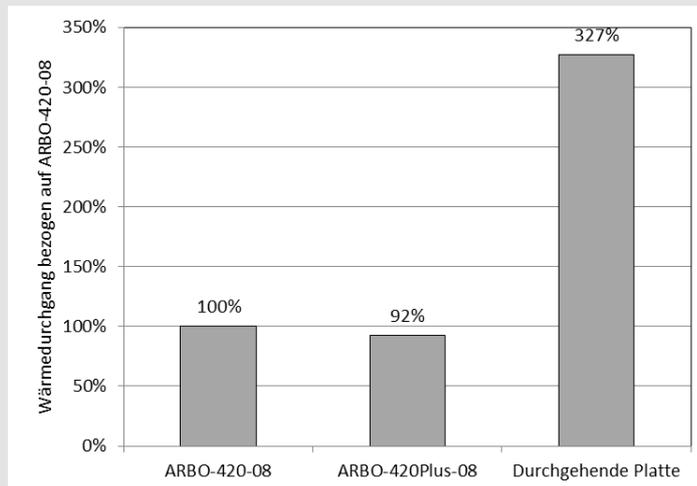


Bild 11: Vergleich des Wärmedurchgangs von ARBO Elementen mit durchgehender Platte bezogen auf ARBO-420-08 (Dämmstärke = 8 cm; Abstand = 0.35 m)

Wird das aus thermischer Sicht empfohlene ARBO Plus Element verwendet, zeigt sich ein noch deutlicherer Unterschied. In Bild 12 ist der Vergleich eines ARBO-420-16 und ARBO-420Plus-16 mit Dämmstärke von 16 cm und einem Elementabstand von 0.35 m mit einer durchbetonierten Stahlbetonplatte dargestellt. Im Vergleich zur Konstruktion mit ARBO Plus Elementen ist der Wärmedurchgang bei einer durchbetonierten Platte mehr als fünfmal so gross. Umgekehrt liegt der Wärmedurchgang mit ARBO Plus Elementen bei gerade mal 18% einer durchbetonierten Platte. Dies wirkt sich direkt auf den Heizenergieverbrauch des Gebäudes und auf die Behaglichkeit im Gebäudeinnern aus.

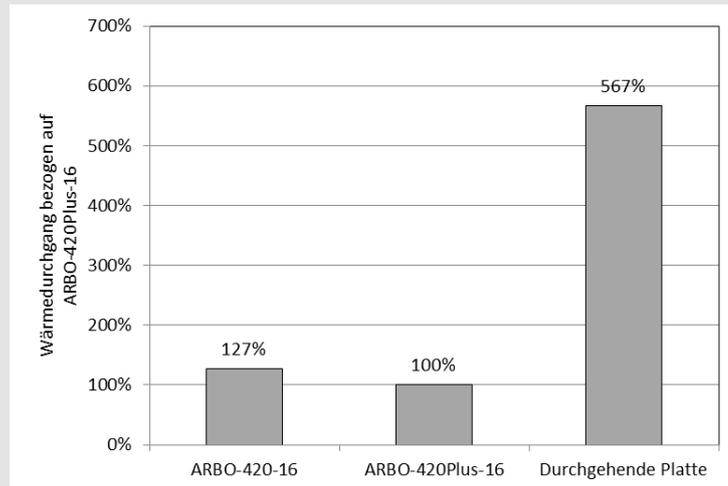


Bild 12: Vergleich des Wärmedurchgangs von ARBO Elementen mit durchgehender Platte bezogen auf ARBO-420Plus-16 (Dämmstärke = 16 cm; Abstand = 0.35 m)

Einfluss der Dämmstärke

Der für den Wärmeverlust in der Wärmebrücke (Kragplattenanschluss) entscheidende Wert ist die Dicke der Dämmung im Elementbereich. ARBO Elemente sind so konstruiert, dass dieselbe Stärke der Wärmedämmung der Wand auch im Elementbereich verwendet werden kann (bis 25 cm). Berechnungen zeigen, dass bei einer Verdoppelung der Dämmstärke der Fuge der Wärmeverlust in der Wärmebrücke stark reduziert wird. Entscheidend ist, dass sich durch die Konstruktionsart der ARBO Elemente kein erheblicher Nachteil in der Lastübertragung (Tragsicherheit) sowie im Gebrauchstauglichkeitsverhalten ergibt.

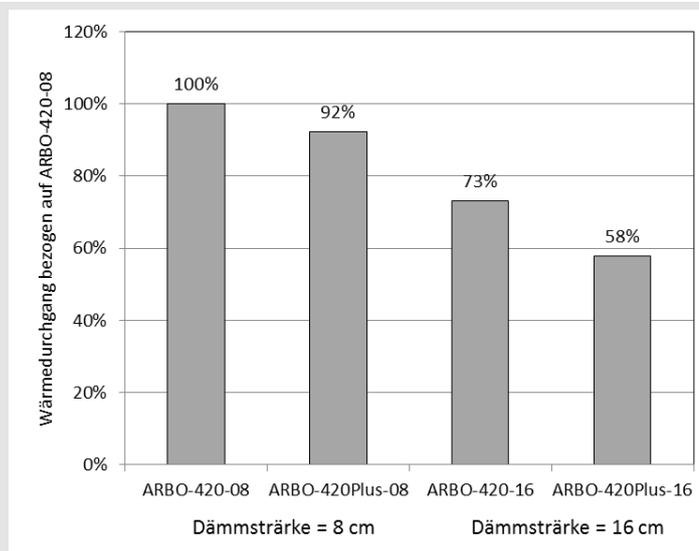


Bild 13: Vergleich des Wärmedurchgangs für verschiedene Dämmstärken bezogen auf ARBO-420-08 (Dämmstärke = 8 cm)

Einfluss des Elementabstands

Ein weiterer entscheidender Parameter ist der Elementabstand der ARBO Elemente. So ergibt sich bei verdoppeltem Elementabstand infolge des dreidimensionalen Wärmestroms nicht direkt eine Halbierung, aber dennoch eine wesentliche Reduktion des Wärmedurchgangs. Bild 14 zeigt den Vergleich des Wärmedurchgangs für ARBO-420-08 Elemente mit einem Elementabstand von 0.25 m, 0.50 m und 1.00 m. Dabei wird ersichtlich, dass mit einer Verdoppelung des Elementabstands der Wärmedurchgang auf 57% reduziert wird. Bei einer weiteren Verdoppelung auf 1.00 m reduziert sich der Wärmedurchgang auf 32% gegenüber einem Elementabstand von 0.25 m. Dadurch, dass die Elementabstände individuell gewählt und mit der Aschwanden Software auch einfach bemessen werden können, ist eine optimale Wärmedämmung möglich.

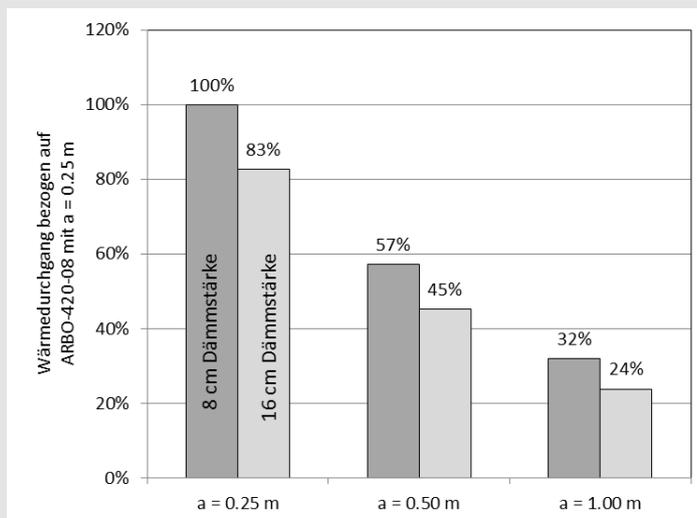


Bild 14: Vergleich des Wärmedurchgangs für verschiedene Elementabstände, bezogen auf ARBO-420-08 (Dämmstärke = 8 cm) mit Abstand 0.25 m

Einfluss der Konstruktionsart

Bild 15 zeigt den Wärmedurchgang bezogen auf ein ARBO 420-08 Element im Vergleich zu den Konstruktionsarten 1 und 2. Hier wird veranschaulicht, dass bereits eine geringfügige Änderung, wie das Verlängern des Schubbleches bis zur Betonkante, einen erheblichen Einfluss auf die Wärmedämmleistung hat. So ist mit Konstruktionsart 1 im Vergleich zu den ARBO-420-08 Elementen ein um 23% grösserer Wärmedurchgang zu erwarten. Falls das Schubblech bis in die Stahlbetonplatte hineinreicht, ergibt sich sogar ein um 38% grösserer Wärmedurchgang. Dies, obwohl bei gleichbleibender Belastung dünnere Stäbe und weniger Schubbleche verwendet werden müssen.

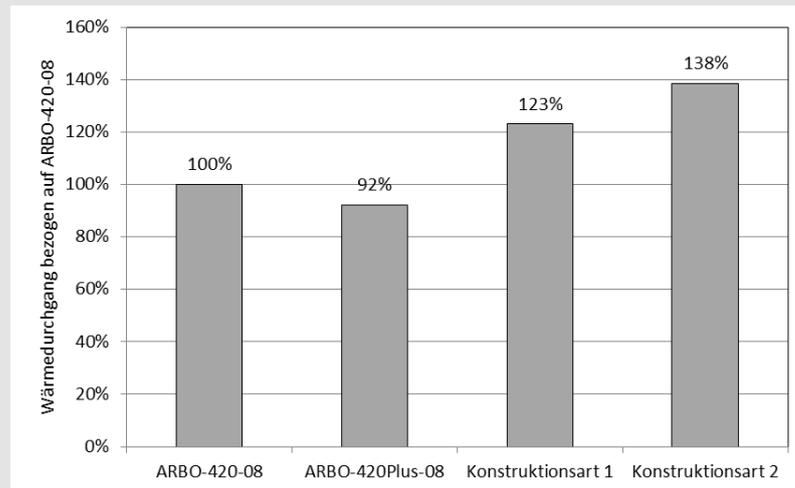


Bild 15: Vergleich des Wärmedurchgangs für verschiedene Konstruktionsarten bezogen auf ARBO-420-08 (Dämmstärke = 8 cm)

Je nach Konstruktionsart können die Dämmstärken nicht weiter erhöht werden, ohne dass es Probleme bei der Tragsicherheit (Knicken des Druckstabes) oder bei der Gebrauchstauglichkeit (Steifigkeit) gibt. Vor allem, wenn dünne Durchmesser für die Druck- und Zugstäbe verwendet werden und nicht jedes Stabpaar mit einem Schublech verbunden ist. Im Gegensatz dazu können ARBO Elemente ohne erhebliche Einbussen an Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit mit grösseren Dämmstärken ausgeführt werden, da jedes Stabpaar mit einem Schublech verbunden ist und die Stabdurchmesser mit $\varnothing 14$ mm genügend gross sind. Weitere Details dazu sind in den Kapiteln „Tragsicherheit“ und „Gebrauchstauglichkeit“ zu finden.

Grundsätzlich wird empfohlen, bei den ARBO Elementen die gleiche Dämmstärke wie bei der Wand zu verwenden. Werden die Resultate auf jene eines ARBO 420Plus Elements mit einer Dämmstärke von 16cm bezogen, ergeben sich noch grössere Unterschiede. Im Vergleich zum Element ARBO 420Plus-16 ist der Wärmedurchgang bei den Konstruktionsarten 1 und 2 mit standardmässiger Dämmstärke von 8 cm mehr als doppelt so gross. Bei der Verwendung von ARBO-420Plus-16 Elementen ist der Heizenergiebedarf infolge des Balkons demnach weniger als halb so hoch als bei Verwendung von Elementen mit Konstruktionsart 1 oder 2.

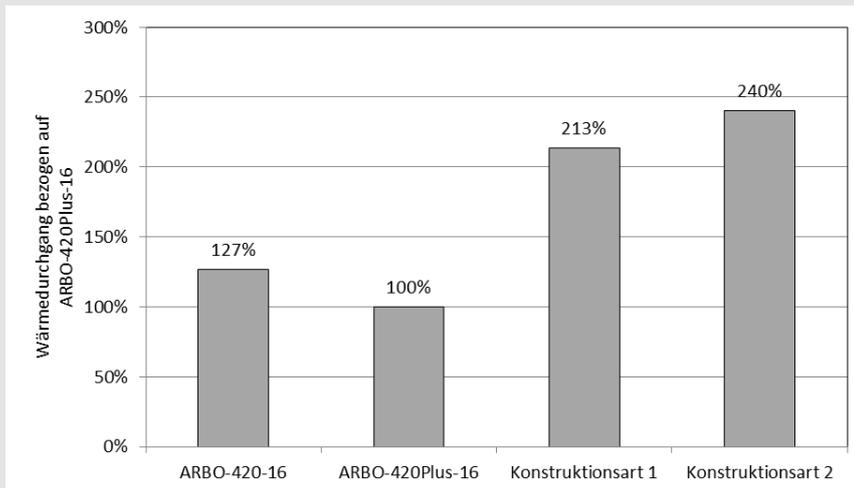


Bild 16: Vergleich des Wärmedurchgangs für verschiedene Konstruktionsarten bezogen auf ARBO-420Plus-16 (Dämmstärke = 16 cm)

Bemessung mit Diagrammen

Die linearen Wärmedurchgangskoeffizienten für die verschiedenen ARBO Elemente sind in den entsprechenden technischen Dokumentationen ersichtlich. Die Angaben in den Diagrammen gelten grundsätzlich nur für das betrachtete Modell, das im Einführungsdokument dargelegt ist. Wie vorgängig gezeigt, sind allerdings bei ähnlichen Wandaufbauten ähnliche Wärmedurchgangskoeffizienten zu erwarten. Die linearen Wärmedurchgangskoeffizienten sind in den Diagrammen in Abhängigkeit des Elementabstandes a und der Dämmstärke e dargestellt. Wie bereits bei der vorstehenden Untersuchung zeigt sich, dass der Elementabstand einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmedurchgangskoeffizienten hat. Weiter ist ersichtlich, dass die Wärmedämmleistung mit einer Erhöhung der Dämmstärke erheblich gesteigert werden kann. Im Gegensatz zum Elementabstand, hat die Dämmstärke im Elementbereich nur einen geringfügigen Einfluss auf die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit. Deshalb wird empfohlen, eine möglichst grosse Dämmstärke zu wählen. Optimal ist es, wenn die gleiche Dämmstärke wie im anschliessenden Wandbereich verwendet wird.

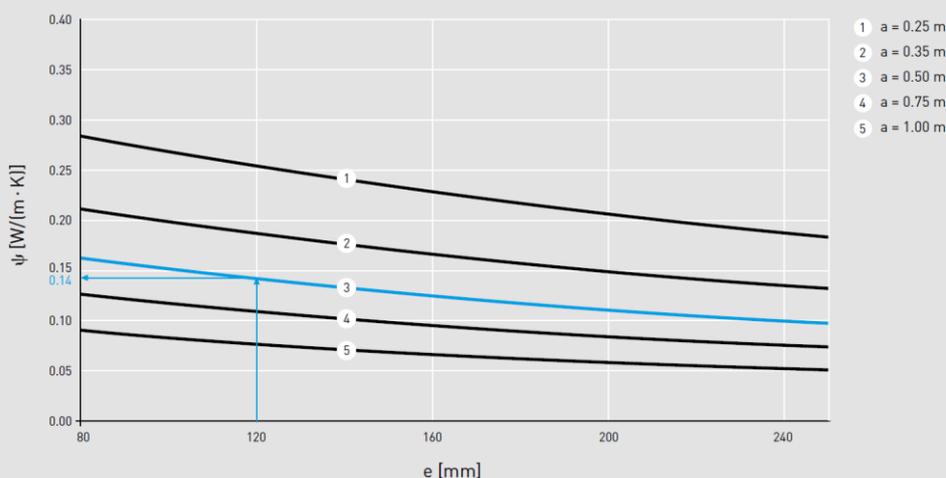


Bild 17: Diagramm zur Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten

6. Trittschallübertragung bei Balkonen und Laubengängen

Einleitung

Balkone werden gerade bei Wohnliegenschaften immer beliebter. Während früher Balkone kleiner Abmessungen zu wenig aktiver Benutzung einluden, werden heute Balkone mit immer grösseren Flächen und Auskragungen gewünscht. Auskragungen von 3 m und mehr sind keine Seltenheit mehr. Balkone solcher Dimensionen laden naturgemäss auch zu einer intensiveren Nutzung ein mit entsprechenden Trittschallemissionen. Aus diesen Gründen sollte heute auch der Trittschallschutz bei Balkonen nicht mehr vernachlässigt werden, insbesondere wenn der Balkon über Räume mit Schlafnutzung reicht. In der Schweiz wird, im Gegensatz zu z.B. Deutschland, auch bei Balkonen eine Mindestanforderung an den Schutz gegen Trittschall vorgeschrieben.

Allerdings ist die Anforderung im Vergleich zu einem Laubengang um 10 dB vermindert. Eine effiziente akustische Isolierung ist heute eine absolute Notwendigkeit für die Bauherrschaft, da Körperschallbrücken in Wohnhäusern zu sehr unerwünschten Folgen führen können. Durch das erhöhte Ruhebedürfnis und Ruheempfinden unserer Gesellschaft muss den hohen Anforderungen an den Schallschutz bereits bei der Projektierung Rechnung getragen werden. Bei den Bauherren hat sich in letzter Zeit immer mehr die Einsicht durchgesetzt, dass ein guter Schallschutz zu einer deutlichen Wertsteigerung der Liegenschaft führen kann. Aus diesem Grunde werden gerade bei Stockwerkeigentum immer häufiger die erhöhten Anforderungen an den Trittschallschutz gefordert.

Normen

Der Schutz vor Lärm ist in der Schweiz in der Lärmschutz-Verordnung (LSV) geregelt. In Art. 32 wird der Bauherr angewiesen, dafür zu sorgen,

„...dass der Schallschutz bei Aussenbauteilen und Trennbauteilen lärmempfindlicher Räume sowie bei Treppen und haustechnischen Anlagen den anerkannten Regeln der Baukunde entspricht. Als solche gelten ... beim Lärm der übrigen ortsfesten Anlagen insbesondere die Mindestanforderungen nach der SIA-Norm 181 des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins.“

Damit verweist die LSV auf die SIA-Norm 181:

- SIA 181:2006 „Schallschutz im Gebäude“.

Aktuell gültig ist die Ausgabe aus dem Jahre 2006.

Die SIA 181 wiederum verweist auf verschiedene internationale Normen, wovon für die vorliegende Untersuchung die folgenden von Interesse sind:

- ISO 140-7 (SN EN ISO 140-7): Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 7: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden
- ISO 140-6 (SN EN ISO 140-6): Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 6: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen
- ISO 717-2 (SN EN ISO 717-2): Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung

- ISO 140-6 wurde 2010 mit weiteren Normen in der neuen Normenreihe ISO 10140 zusammengefasst. ISO 10140-3 entspricht dabei inhaltlich weitgehend der früheren Norm ISO 140-6.
- ISO 140-7 und ISO 140-6 definieren die Verfahren, wie die Trittschalldämmung in Gebäuden, bzw. in Prüfständen gemessen wird. Diese Verfahren ergeben für ein Terzbandspektrum Werte der Trittschalldämmung.

Die Norm ISO 717-2 definiert ein Verfahren, mit welchem die frequenzabhängigen Werte der Trittschalldämmung in eine Einzelangabe umgewandelt werden können.

Das Vorgehen zur Ermittlung der Trittschallminderungsangaben ist, wie die Normenbezeichnung zeigt, international gültig. Das Festlegen von Grenzwerten ist jedoch national geregelt. In der Schweiz werden die Grenzwerte durch die SIA 181 festgelegt. Als Mass für den Schutz gegen Trittschallübertragung wird der spektral angepasste, volumenkorrigierte bewertete Standard-Trittschallpegel L_{tot} verwendet (SIA 181, Abschnitt 3.2.2.1). Einfach ausgedrückt heisst das, zum Beispiel, dass in einem bestehenden Gebäude mit einem Normhammerwerk auf einer Decke angeregt wird (Sender) und im zu beurteilenden Raum (Empfänger) der resultierende Lärmpegel gemessen wird. Dementsprechend ist der Schutz gegen Trittschall umso besser, je tiefer der gemessene Pegel ist, bzw. die Anforderung an den Trittschallschutz ist umso höher, je tiefer der geforderte Grenzwert ist.

Die Anforderungswerte L' für den Trittschall (Grenzwerte) sind in Tabelle 5 der SIA 181 aufgeführt. Dabei handelt es sich um die Mindestanforderungen. In dieser Tabelle wird mit „Lärmbelastung“ der Grad der Störung (Sender) definiert. Für Korridore, Treppen, Laubengänge, aber auch Wohn- und Schlafzimmer gilt eine mässige Lärmbelastung. Für Balkone kommt eine Sonderregelung gemäss Abschnitt 3.2.2.5 zur Anwendung: die Lärmbelastung ist „klein“, jedoch mit um 5 dB erhöhten Werten nach Tabelle 5 der SIA 181. Bei Erhöhten Anforderungen (wenn vertraglich festgelegt), gelten die um 3 dB verringerten Werte gegenüber der Tabelle 5 der SIA 181. Eine Sonderregelung kommt auch für Umbauten zur Anwendung (Abschnitt 3.2.2.4): es gelten die um 2 dB erhöhten Werte gegenüber der Tabelle 5 der SIA 181. Die Lärmempfindlichkeit (Empfänger) ist in Abschnitt 2.3 der SIA 181 definiert. Bei Räumen für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten gilt die Lärmempfindlichkeit „mittel“. Diese Lärmempfindlichkeit umfasst demnach die wichtigsten Anwendungen in der Praxis. Somit können die Anforderungswerte L' nach SIA 181 für den vorliegenden Fall der Trittschallübertragung bei Balkonen und Laubengängen wie in Tabelle 1 wiedergegeben vereinfacht werden.

Tabelle 1: Anforderungswerte L' nach SIA 181 von Balkonen und Laubengängen bei Lärmempfindlichkeit „mittel“

Lärmempfindlichkeit "mittel"		Balkon	Laubengang
Mindestanforderungen	Neubauten	63 dB	53 dB
	Umbauten	65 dB	55 dB
Erhöhte Anforderungen	Neubauten	60 dB	50 dB
	Umbauten	62 dB	52 dB

Der Anforderungswert L' wird mit dem spektral angepassten, volumenkorrigierten Standard-Trittschallpegel L'_{tot} verglichen. Der Spektrum-Anpassungswert¹ für tieffrequente Übertragungen C_1 ist bauteilspezifisch und beträgt für übliche Massivdecken 0 bis 2 dB.

¹ Spektrum-Anpassungswert: Wert, in Dezibel, der zur Einzahlangabe addiert wird, um das Trittschallspektrum zu berücksichtigen, das einem typischen Gehgeräusch entspricht.

7. Anforderungen an den Feuerwiderstand und das Brandverhalten von Kragplattenanschlüssen

Üblicherweise werden an Kragplattenanschlüsse von Balkonen bei Gebäuden geringer und mittlerer Höhe (bis 30 m Gebäudehöhe) keine Brandanforderungen gestellt, sofern sie nicht als Fluchtweg, zur Brandabschnittsbildung oder als Brandriegel dienen. Allerdings können bei Spezialfällen, insbesondere bei Hochhäusern, Anforderungen entstehen. Die nachfolgenden Abschnitte zeigen jedoch, dass ARBO Elemente ohne zusätzliche Massnahmen für Balkone, Fluchtwege (Laubengänge) und Brandriegel für jegliche Gebäudehöhen verwendet werden können.

Gemäss der Brandschutznorm 1-15 der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) muss der Feuerwiderstand von Tragwerken und brandabschnittsbildenden Bauteilen so festgelegt werden, dass die Personensicherheit und die Brandbekämpfung gewährleistet sind, sowie die Ausbreitung von Bränden auf andere Brandschnitte während einer definierten Zeit verhindert wird. Diesbezüglich können die Anforderungen an Bauteile in zwei Kategorien eingeteilt werden: die Tragfähigkeit im Brandfall und die Verhinderung der Brandausbreitung. Die Tragfähigkeit wird mit den Buchstaben R gekennzeichnet (z.B. R60). Je nach Gebäudetyp und Brandschutzkonzept (Sprinkleranlage) sind in der Brandschutzrichtlinie 15-15 „*Brandschutzabstände Tragwerke Brandabschnitte*“ verschiedene Anforderungen definiert. Zur Verhinderung der Brandausbreitung sind bei Bauteilen der Raumabschluss (E) und die Wärmedämmung (I) relevant. Bei Baustoffen ist hingegen die Brennbarkeit des Baustoffes massgebend. Ein Baustoff ist als RF1 (kein Brandbeitrag), RF2 (geringer Brandbeitrag), RF3 (zulässiger Brandbeitrag) oder RF4 (unzulässiger Brandbeitrag) klassifiziert (Brandschutzrichtlinie 13-15 „*Baustoffe und Bauteile*“). Baustoffe, die zum Beispiel aufgrund ihrer Rauchentwicklung, dem brennenden Abtropfen/Abfallen oder deren Korrosivität, im Brandfall zu nicht akzeptierten Brandauswirkungen führen können, werden aufgrund ihres kritischen Verhaltens (comportement critique) bei der Klassifizierung mit dem Zusatz cr versehen (z.B. RF2(cr)).

Es gilt aber klar festzuhalten, dass Kragplattenanschlüsse als Bauteile und nicht als Baustoffe klassifiziert sind².

Kragplattenanschlüsse können einerseits als Tragwerk und andererseits als feuerwiderstandsfähiges Bauteil angesehen werden, wobei sich die Definition als Tragwerke in erster Linie auf Bauteile, welche zur Lastabtragung und Stabilisierung des Gebäudes notwendig sind, bezieht. Auskragende Elemente, wie z.B. Balkone, sind diesbezüglich ein Spezialfall, da sie in der Regel nur sich selber tragen und somit keine tragende oder stabilisierende Wirkung für die Gesamtstruktur haben. Deshalb werden an Balkone, welche nicht als Fluchtweg vorgesehen sind unabhängig von der Gebäudehöhe üblicherweise keine speziellen Anforderungen an das Tragwerk gestellt. Eine Ausnahme bilden Hochhäuser ohne Löschanlagenvollschutz, bei welchen in jedem Geschoss im Anschlussbereich der Geschossdecke an die Aussenwand Massnahmen zu treffen sind, damit eine Brandausdehnung eingeschränkt wird (Brandschutzrichtlinie 15-15 Artikel 3.7.13 & Anhang). In diesem Zusammenhang kann auch auf die Beschluss-Sammlung der Fachkommission Bautechnik für EN-normierte Baustoff- und Bauteilprüfungen (Punkt 1.38) verwiesen werden, welche besagt, dass aus brennbaren Materialien bestehende Kragplattenanschlüsse mit Feuerwiderstand ohne brandabschnittsbildende Funktion im Bereich der Aussenwandkonstruktion

bei allen Gebäudehöhen (inkl. Hochhäuser) eingesetzt werden dürfen. Jedoch muss der Feuerwiderstand des Kragplattenanschlusses mindestens REI 30 betragen.

Bei auskragenden Bauteilen, welche als Fluchtweg vorgesehen sind (insbesondere Laubengänge), gelten spezielle Brandschutzanforderungen. Artikel 2.5.4 der Brandschutzrichtlinie 16-15 („*Flucht und Rettungswege*“) fordert für die Laufflächen von Laubengängen, welche nur zu einem vertikalen Fluchtweg (Treppenhaus) führen, einen minimalen Feuerwiderstand von 30 Minuten. Führt der Laubengang an beiden Enden zu vertikalen Fluchtwegen, sind keine Anforderungen an den Feuerwiderstand gefordert. Die Höhe des Gebäudes ist für die Anforderungen an den Feuerwiderstand bei Laubengängen irrelevant.

Als Massnahme zur Verhinderung der Brandausbreitung bei verputzten Aussenwärmedämmungen sind Brandriegel vorzusehen, sofern das verwendete Wärmedämmungsmaterial nicht der Brandverhaltensgruppe RF1 entspricht. Für die Konstruktion eines Brandriegels wurde von EPS-Verband Schweiz ein Dokument ausgearbeitet („Brandschutzmassnahmen für verputzte Aussenwärmedämmung VAWD“), welches die Anforderungen bzw. die konstruktive Ausbildung der Brandriegel darstellt. In Bezug auf die Wirkungsweise eines Balkons bzw. dessen Kragplattenanschluss als Brandriegel wird unter anderem die Anforderung REI 30 festgehalten. Dies bedeutet, dass ein Kragplattenanschluss mit REI 30 -anhand von Brandversuchen bestimmt- als Brandriegel verwendet werden kann. In diesem Fall gibt es an den Kragplattenanschluss keine zusätzliche Anforderung an die verwendeten Baustoffe².

Die ARBO Elemente haben im Brandversuch gezeigt (siehe Ergebnisbericht MFPA Leipzig ARBO Elemente), dass die ARBO Elemente die Anforderungen der Klasse REI 90 erfüllen. Somit dienen ARBO Elemente als Tragwerk und sind feuerwiderstandsfähig. D.h., ARBO Elemente können als Brandriegel verwendet werden. Es gilt allerdings anzumerken, dass die ARBO Elemente bislang nur mit einer Dämmstärke von 120 mm im Brandversuch getestet wurden. Deshalb kann bei grösserer Dämmstärke noch keine Aussage über den Feuerwiderstand gemacht werden. Für grössere Dämmstärken stehen jedoch die ARBO-RF Elemente zur Verfügung. Diese zeigten in Brandversuchen, dass die Anforderungen der Klasse REI 120 bis zu einer Dämmstärke von 240 mm erfüllt werden (siehe Ergebnisbericht MFPA Leipzig ARBO-RF Elemente). Des Weiteren bestehen die ARBO-RF Elemente ausschliesslich aus nicht-brennbaren Materialien. Somit stehen für verschiedene Anforderungen entsprechende ARBO bzw. ARBO-RF Elemente zur Verfügung.

² Es gilt darauf hinzuweisen, dass bei Kragplattenanschlüssen die verwendeten Baustoffe grundsätzlich mindestens die Anforderungen RF3(cr) erfüllen müssen. Dies ist bei ARBO Elementen erfüllt.

8. Beispiel 1

Grunddaten

Das Beispiel 1 behandelt ein Gebäude mit einem auskragenden Balkon auf der Längsseite des Gebäudes. Dabei werden die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen sowie der Wärmedurchgang untersucht. Für den Nachweis der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit werden drei verschiedene Verfahren vorgestellt. Zuerst wird im Rahmen einer Vordimensionierung mit einfachen Abschätzungen die Machbarkeit untersucht. Anschliessend wird die Bemessung einerseits mit einer generellen FE-Berechnungssoftware und einer Berechnung mit der ARBO/CRET Software (bzw. AxisVM mit ARBO/CRET Plug-in) dargestellt. Am Ende des Beispiels wird schliesslich der Wärmedurchgang infolge der Wärmebrücke mithilfe von Diagrammen bestimmt.

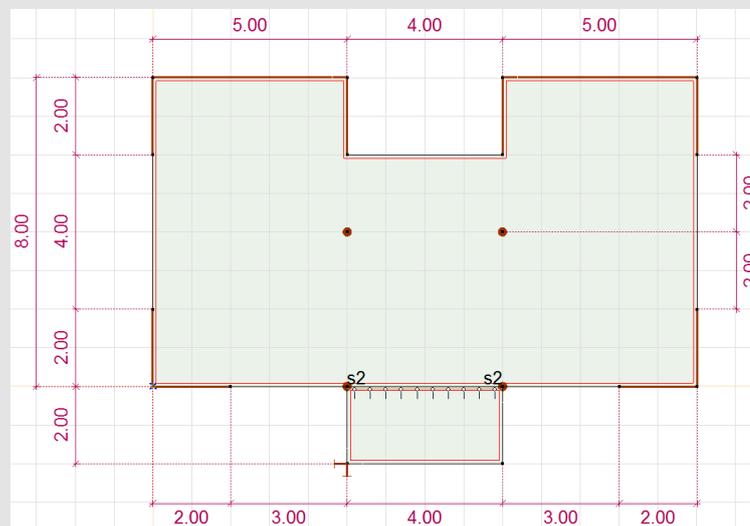


Bild 18: Geometrie Beispiel 1

Material	C30/37 B500B	Linienlager (Wände)	$R_x = 1E7 \text{ kN/m/m}$ $R_y = 0 \text{ kN/m/m}$ $R_z = 1E7 \text{ kN/m/m}$
Plattenstärke	$h = 180 \text{ mm}$		$R_{xx} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{yy} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{zz} = 0 \text{ kNm/m}$
FE-Netzgrösse	Automatisch (max. 0.40 m)	Punktlager (Stützen)	$R_x = 0 \text{ kN/m/m}$ $R_y = 0 \text{ kN/m/m}$ $R_z = 1E7 \text{ kN/m/m}$ $R_{xx} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{yy} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{zz} = 0 \text{ kNm/m}$

Lasten und Lastkombinationen

Eigengewicht:	25 kN/m ³
Auflast (Innenbereich):	1 kN/m ²
Nutzlast (Innenbereich):	2 kN/m ²
Nutzlast (Balkon):	3 kN/m ²

Lastkombination 1: Tragsicherheit

Lastfall für den Nachweis der Tragsicherheit

Innenbereich

$$g_d + q_d = 1.35 \cdot (0.18 \cdot 25 + 1) + 1.5 \cdot 2 = 10.4 \text{ kN/m}^2$$

Balkon

$$g_d + q_d = 1.35 \cdot (0.18 \cdot 25) + 1.5 \cdot 3 = 10.6 \text{ kN/m}^2$$

Lastkombination 2: Gebrauchstauglichkeit für Nachweis der Durchbiegung

Quasi-ständiger Lastfall für den Nachweis der maximalen Durchbiegung des Balkons (keine Nutzlast Innen)

Innenbereich

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25 + 1) = 5.5 \text{ kN/m}^2$$

Balkon

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25) + 0.3 \cdot 3 = 5.4 \text{ kN/m}^2$$

Lastkombination 3: Gebrauchstauglichkeit für Schwingungsanalyse

Quasi-ständiger Lastfall für Schwingungsanalyse

Innenbereich

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25 + 1) + 0.3 \cdot 2 = 6.1 \text{ kN/m}^2$$

Balkon

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25) + 0.3 \cdot 3 = 5.4 \text{ kN/m}^2$$

Für die Schwingungsanalyse müssen die Lasten in Massen umgerechnet werden.

ARBO Elemente

Bei diesem Beispiel werden ARBO-418-16 Elemente für Plattenstärke 180 mm und Dämmstärke von 160 mm verwendet:

Vordimensionierung

Für die Vordimensionierung wird die Kragplatte als Kragarm mit Breite von 1.00 m modelliert.

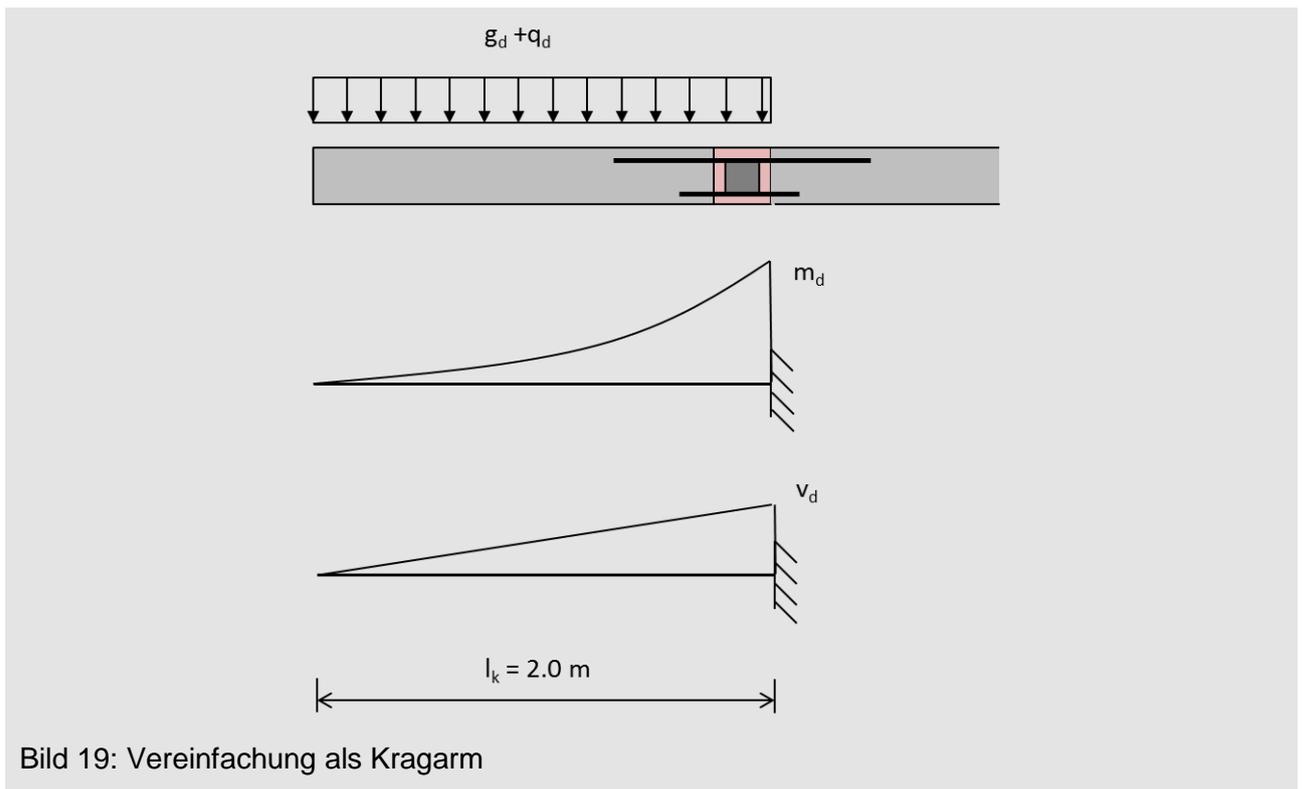


Bild 19: Vereinfachung als Kragarm

Dies führt zur den maximalen Schnittkräften von

$$m_d = 10.6 \cdot \frac{2.0^2}{2} = 21.2 \text{ kNm/m}$$

$$v_d = 10.6 \cdot 2.0 = 21.2 \text{ kN/m}$$

Tragsicherheit

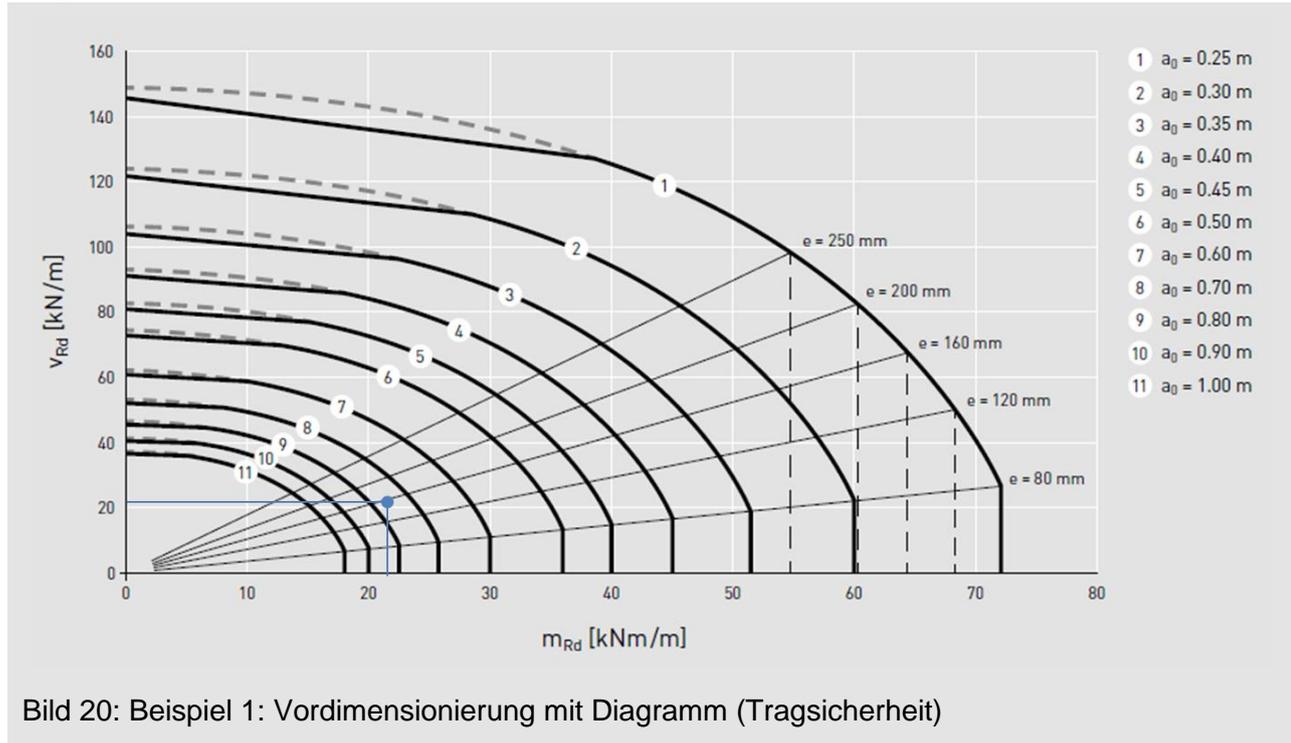


Bild 20: Beispiel 1: Vordimensionierung mit Diagramm (Tragsicherheit)

Es zeigt sich, dass mit ARBO für ein Biegemoment von 21.2 kNm/m und eine Querkraft von 21.2 kN/m etwa ein Abstand zwischen 0.70 m und 0.80 m notwendig ist. Dies führt bei einer Balkonlänge von 4.00 m zu einer Anzahl von:

$$n = \frac{4.0}{0.75} + 1 = 7 \text{ Elemente}$$

Durchbiegungen

Die nachfolgenden Berechnungen der Durchbiegung basieren auf der Annahme eines eingespannten Kragarms. Dabei wird von einem fixen Auflager ohne Verdrehung im Einspannbereich ausgegangen. Dies führt in der Regel zu einer Unterschätzung der Durchbiegung. In diesem Beispiel wird gezeigt, dass die abgeschätzten Durchbiegungen im Vergleich mit einer FE-Berechnung deutlich tiefer sind. Deshalb wird für eine exakte Lösung generell eine FE-Berechnung empfohlen.

Ohne Berücksichtigung einer womöglich vorhandenen Verdrehung im Anschlussbereich ergibt sich für die Durchbiegung der Platte

$$w_{Platte} \cong \frac{1}{8} \cdot \frac{ql^4}{EI_{\infty}^I} = \frac{1}{8} \cdot \frac{5.4 \cdot 1000 \cdot 2^4}{2916} = 3.7 \text{ mm}$$

Wobei EI_{∞}^I die Steifigkeit der Balkonplatte mit gerissenem Querschnitt und Berücksichtigung der Langzeiteffekten ist.

Näherungsweise kann die Steifigkeit der Balkonplatte mit gerissenem Querschnitt und Langzeiteffekten angenommen werden als:

$$EI_{\infty}^I \cong \frac{1}{5} EI_0^I = \frac{1}{5} \cdot 30'000 \cdot \frac{180^3 \cdot 1000}{12} \cdot 10^{-9} = 2916 \text{ kN/m}^2$$

Die Zusatzverformung infolge des ARBO Elements lässt sich aus dem Diagramm in der technischen Dokumentation ablesen.

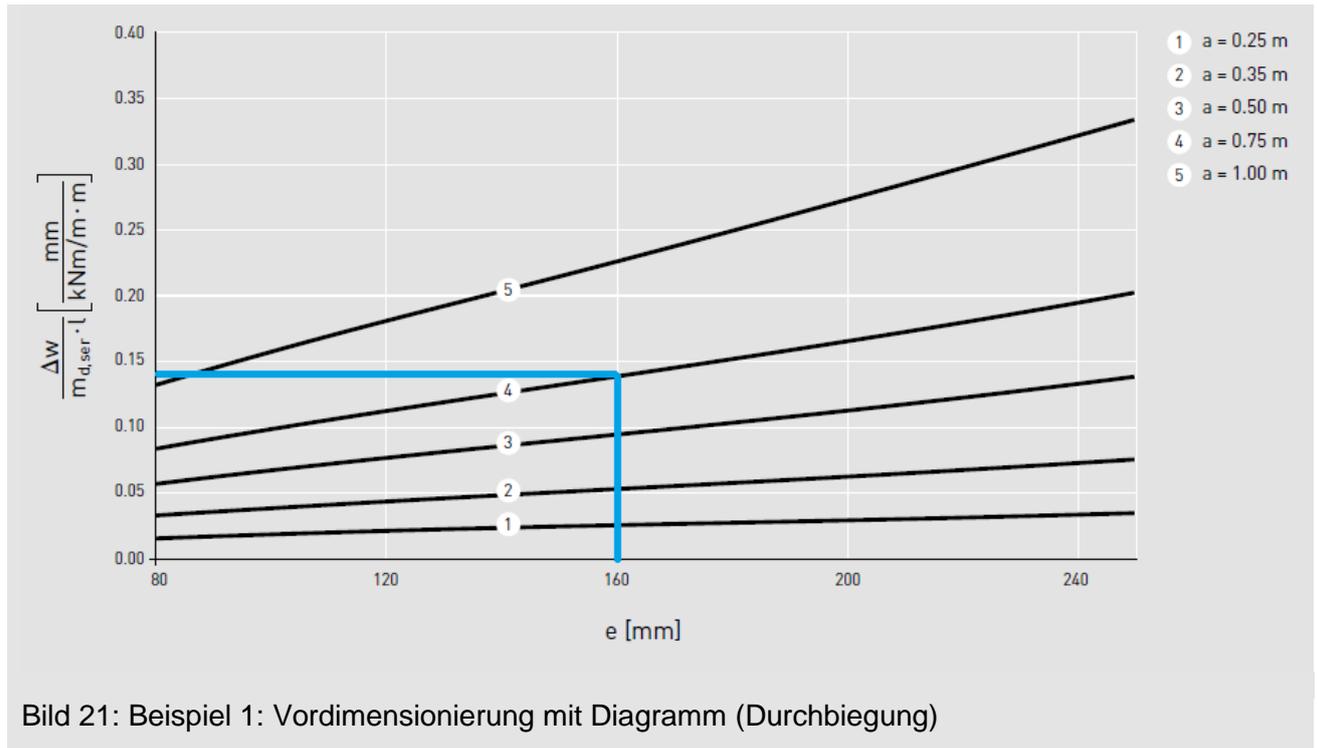


Bild 21: Beispiel 1: Vordimensionierung mit Diagramm (Durchbiegung)

Dies ergibt eine Zusatzverformung infolge des ARBO Elements von:

$$\Delta w \cong 0.14 \cdot \left(5.4 \cdot \frac{2.0^2}{2} \right) \cdot 2.0 = 3.0 \text{ mm}$$

Die vollständige Verformung ergibt abschätzungsweise (ohne Berücksichtigung einer vorhandenen Verdrehung im Anschlussbereich infolge der nicht starren Einspannung)

$$w_{tot} = 3.7 + 3.0 = 6.7 \text{ mm}$$

Schwingungsanalyse für Vordimensionierung

Schwingungsanalysen sind in der Regel infolge der Randbedingungen und der zu berücksichtigenden Steifigkeiten komplex. Für eine brauchbare Schwingungsanalyse wird daher selbst bei einfachen Balkonplatten eine FEM-Modellierung der Kragplatten mitsamt der anschliessenden Tragstruktur empfohlen. Für die Vordimensionierung eignet sich das im Aschwanden Softwarepaket enthaltene parametrisierte Schwingungsanalyse-Tool. Bereits vordefinierte Grundrisse lassen sich dabei einfach verwenden. Bild 22 zeigt die Eingabeoberfläche dieses Tools. Nachfolgend werden die einzelnen Eingaben erläutert.

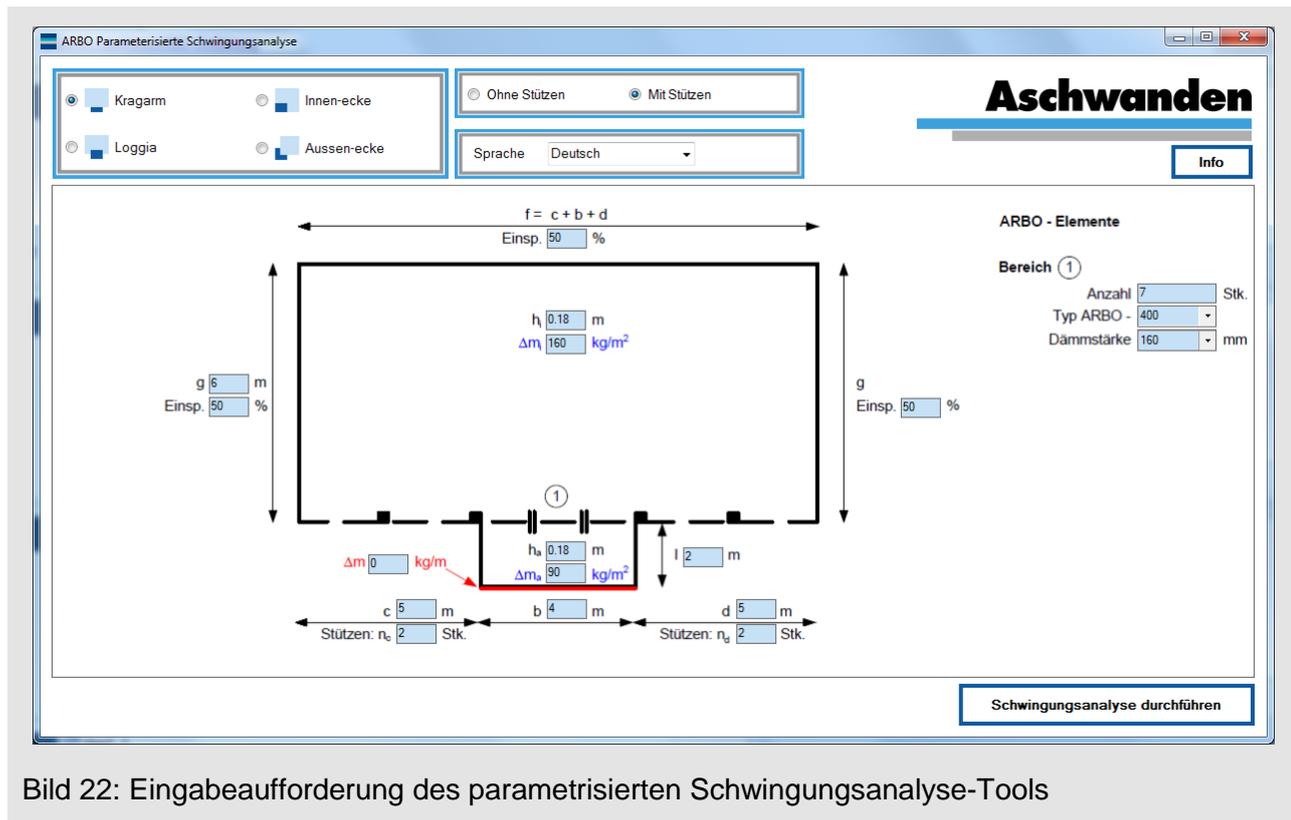


Bild 22: Eingabeaufforderung des parametrisierten Schwingungsanalyse-Tools

Im Beispiel ist der Balkon frei auskragend. Deshalb wird in der Eingabeaufforderung oben links als Grundmodell „Kragarm“ gewählt. Da im Balkonbereich des Beispiels keine durchgehenden Wände vorhanden sind, wird das Modell „Mit Stützen“ gewählt.

Die Geometrie des Gebäudes stimmt in der Regel nicht exakt mit der vorgegebenen Geometrie überein. Deshalb müssen die Längen für die Modellierung abgeschätzt werden. Im vorliegenden Beispiel ist die Länge des Gebäudes mit 14 m gegeben. Die zu modellierende Breite ist hingegen nicht klar definiert (Bild 18). Wenn man davon ausgeht, dass durch die U-förmigen Wände im Bereich der Aussparung für das Treppenhaus (gegenüberliegende Gebäudeseite des Balkons) ein virtuelles Auflager mit Einspannwirkung entsteht, kann die Breite mit 6 m abgeschätzt werden.

Bei den Wandauflagern wird jeweils noch der Einspanngrad der Decke in die Wände verlangt. Die Eingabe der Einspannwirkung erfolgt als Prozentangabe. Dabei gelten folgende Anhaltspunkte:

100%	Vollständige Einspannung (keine Rotation) z.B. falls im anschliessenden Deckenfeld Querwände vorhanden sind
70%	Vollständige Wandeinspannung z.B. falls die Wände biegesteif mit der Platte verbunden sind
1-70%	Teilweise Einspannung
1%	Keine Einspannung; rotationsfrei gelagerte Platten z.B. Platte auf Mauerwerkswand aufliegend, ohne darüber liegende Wand

Im Beispiel wurde eine geringe Einspannwirkung in allen Wänden von 50% angenommen. Dies entspricht etwa teilweise biegesteif angeschlossenen Wänden, bei denen darüber liegende Wände vorhanden sind.

Die Plattenstärke beträgt im Beispiel innen wie aussen 0.18 m.

Für die zusätzlichen Masse (zusätzlich zum automatisch bestimmten Eigengewicht), werden die Massen der quasi-ständigen Einwirkungen eingegeben.

$$\Delta m_i = \frac{(1.0 \cdot 1 + 0.3 \cdot 2) \cdot 10^3}{9.81} = 160 \text{ kg}$$

$$\Delta m_a = \frac{(0.3 \cdot 3) \cdot 10^3}{9.81} = 90 \text{ kg}$$

Auf der rechten Seite der Eingabeaufforderung können die ARBO Elemente eingegeben werden. In diesem Beispiel sind 7 ARBO 418-16 Elemente vorhanden. Das heisst, der Typ ist ein ARBO-400 Element mit einer Dämmstärke von 160 mm.

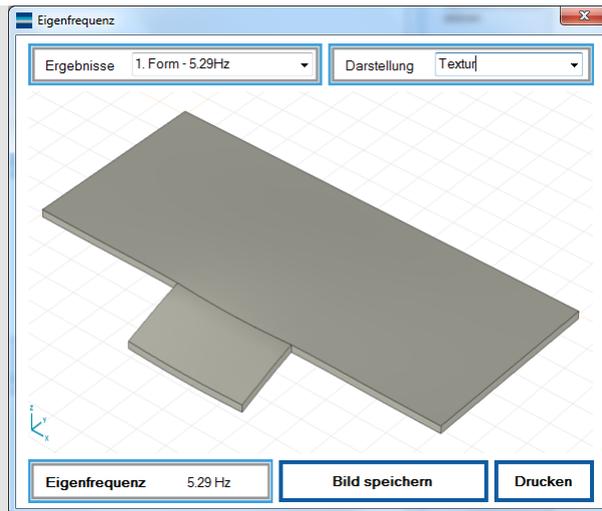


Bild 23: Resultate der parametrisierten Schwingungsanalyse

Bild 23 zeigt die Resultate der Schwingungsanalyse. Dabei werden die ersten fünf Eigenfrequenzen sowie die dazugehörigen Schwingungsmodi ausgegeben. Allerdings ist in der Regel nur die erste Eigenfrequenz von Interesse. Im dargestellten Beispiel ergibt sich eine erste Eigenfrequenz von 5.29 Hz. Diese liegt grundsätzlich über 4.5 Hz, was in Analogie zu Fussgängerbrücken vermieden werden sollte. Somit sollten bei diesen Abmessungen mit den ARBO Elementen keine Probleme entstehen. Da die Eigenfrequenz dennoch relativ tief ist, empfiehlt es sich, bei der eigentlichen Bemessung dieses Beispiels die Modellierung noch etwas zu verfeinern (siehe Bemessung mit ARBO/CRET Software).

Bemessung mit allgemeiner FE-Software

Tragsicherheit

Bei der Bemessung mit einer allgemeinen Software können die ARBO Elemente mittels Gelenklinie in der FE-Berechnung berücksichtigt werden. Die Rotationssteifigkeit ergibt sich aus den in der entsprechenden Dokumentation angegebenen Elementsteifigkeiten.

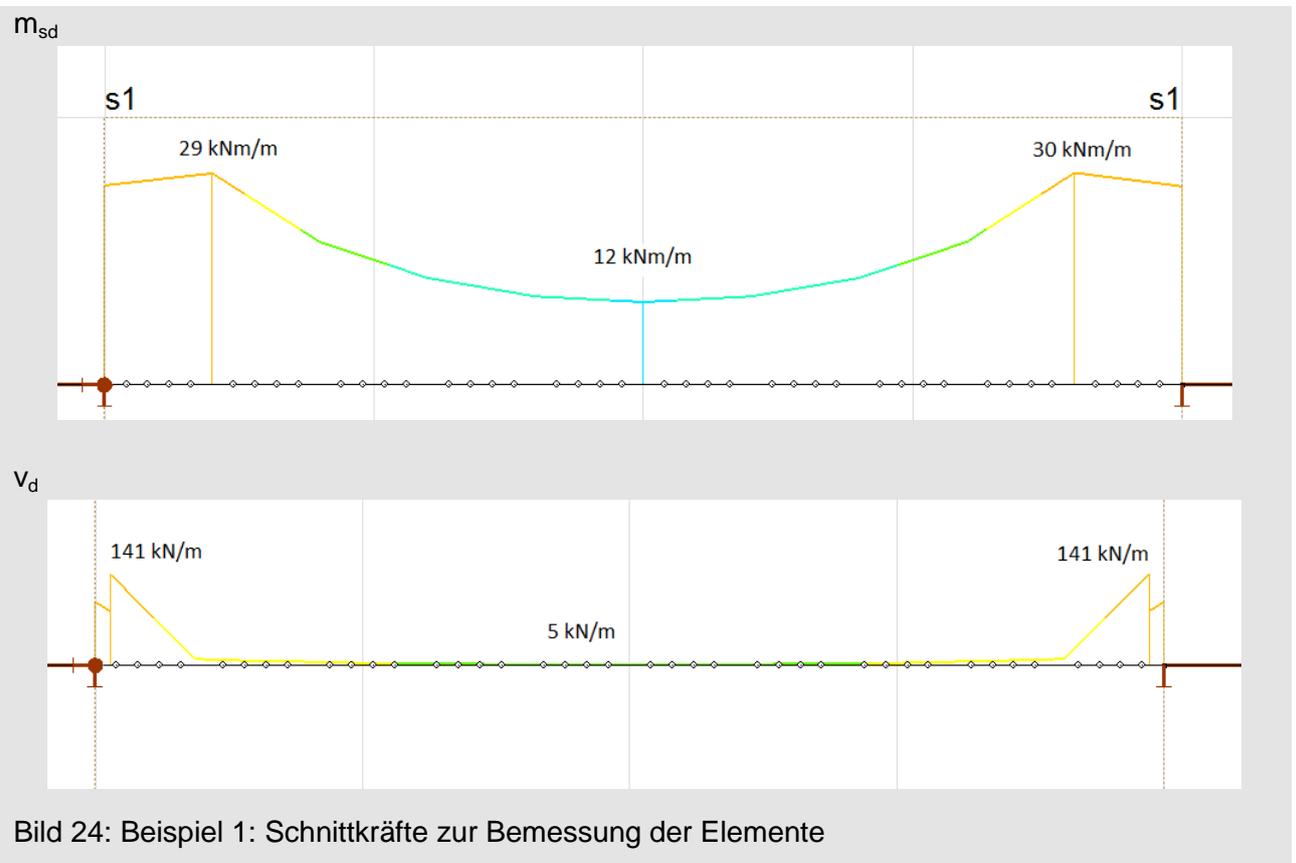
$$K_{xx} = \frac{EI_{El}}{e} \cdot \frac{1}{a}$$

Für die Schnittkraftbestimmung kann bei einer Dämmstärke von 160 mm und angenommenem Elementabstand von 0.50 m mit einer Steifigkeit von:

$$K_{xx} = \frac{1825}{0.160} \cdot \frac{1}{0.5} = 22813 \text{ kNm/m}$$

gerechnet werden.

Für die Berechnung der Schnittkräfte genügt in der Regel eine grobe Annahme der Steifigkeit im Randgelenk. Für die Berechnung der Durchbiegungen und bei einer Schwingungsanalyse sollte jedoch der effektiv vorhandene Elementabstand berücksichtigt werden.



Anhand der Schnittkräfte (m_y ; v_{yz}) entlang des Balkonanschlusses (Randgelenks) können die ARBO Elemente bemessen werden. Dabei wird der Anschlussbereich in drei Abschnitte unterteilt. Mithilfe der Bemessungsdiagramme in der technischen Dokumentation von ARBO-400 kann nun die Anzahl Elemente für die verschiedenen Bereiche bestimmt werden. In den Randbereichen werden zwei Elemente mit Abstand von 0.25 m und im mittleren Bereich drei Elemente mit Abstand 1.00 m angeordnet. Dabei entstehen je ein Abschnitt von 0.50 m am Rand und ein mittlerer Bereich von 3.00 m. Dies führt zu einer Verteilung wie im Bild 25 dargestellt.

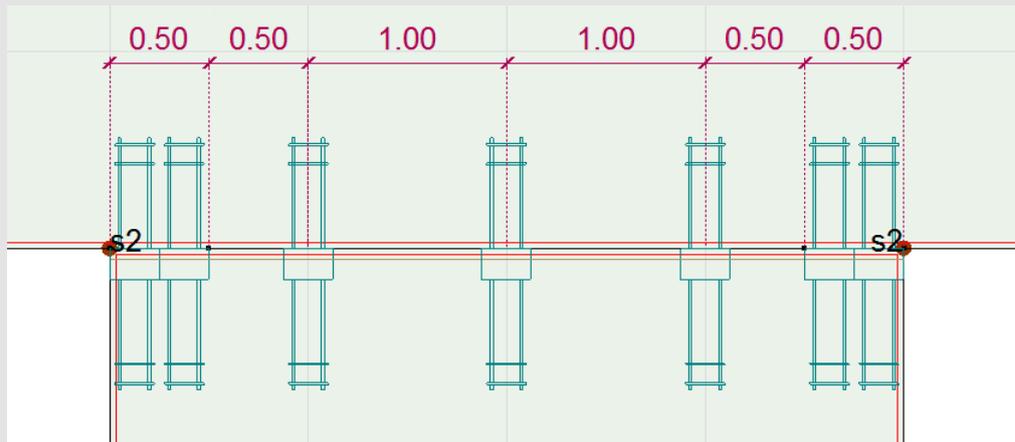


Bild 25: Beispiel 1: Verteilung der ARBO Elemente

Durchbiegungen

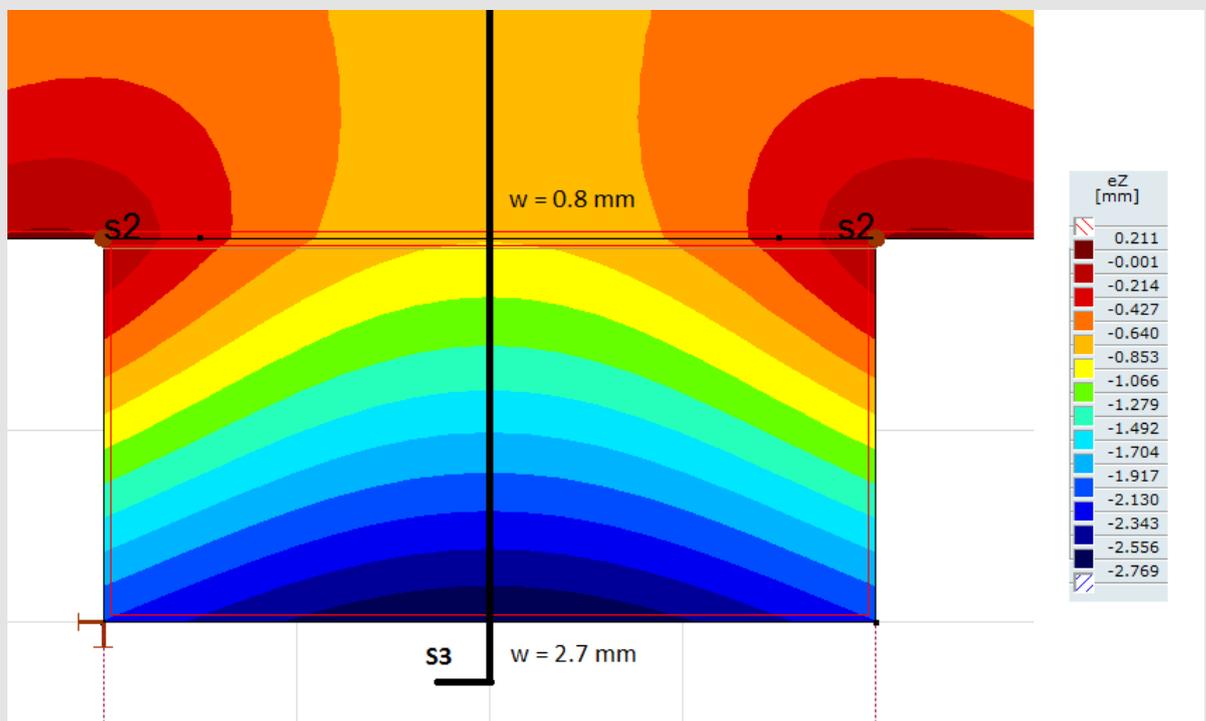
Für den Nachweis der Durchbiegungen kann nun die Steifigkeit im Randgelenk anhand der bestimmten Abstände korrigiert werden. Somit ergibt sich gemäss technischer Dokumentation für die Biegesteifigkeit bei einer Dämmstärke von 160 mm und Elementabstand von 0.25 m und 1.00 m

$$K_{xx} = \frac{1825}{0.160} \cdot \frac{1}{0.25} = 45625 \text{ kNm/m}$$

bzw.

$$K_{xx} = \frac{1825}{0.160} \cdot \frac{1}{1} = 11406 \text{ kNm/m}$$

Grundriss



Schnitt S3

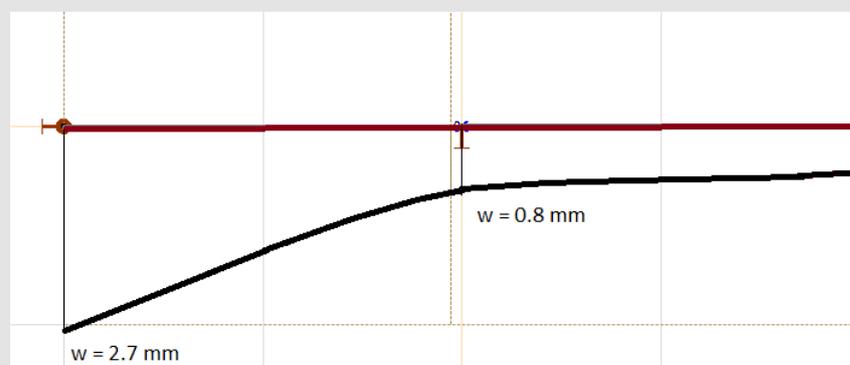


Bild 26: Beispiel 1: Linear-elastisch bestimmte Durchbiegung

Dies führt zu einer linear-elastisch bestimmten, massgebenden Durchbiegung der Balkonplatte von:

$$w_c = 2.7 - 0.8 = 1.9 \text{ mm}$$

Mit Gleichung (102) aus der Norm SIA 262:2013 können der gerissene Querschnitt und die Langzeiteffekte mitberücksichtigt werden. Dies führt zu einer Durchbiegung von:

$$w = \frac{1 - 20 \cdot 0.0025}{10 \cdot 0.005^{0.7}} \cdot (0.75 + 0.1 \cdot 2) \cdot \left(\frac{180}{155}\right)^3 \cdot 1.9$$

$$w = 5.77 \cdot 1.9 = 11 \text{ mm}$$

Die zulässige Durchbiegung gemäss den Richtwerten der SIA 260:2014 ist:

$$w_{adm} = \frac{2 \cdot 2000}{300} = 13 \text{ mm}$$

Das heisst, dieser Balkon kann mit ARBO Elementen ohne Schalungsüberhöhung erstellt werden.

Im Vergleich zur Vordimensionierung sind die berechneten Verformungen um einiges grösser. Dies zeigt deutlich, dass eine Annahme als fest eingespannter Kragarm in vielen Fällen keine geeignete Modellannahme für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist. Es empfiehlt sich daher, den Gebrauchstauglichkeitsnachweis mithilfe einer FE-Berechnung zu führen.

Berechnung mit ARBO/CRET Software oder AxisVM

Tragsicherheit

Für eine effiziente Berechnung ist es von Vorteil, wenn man die Anschlusslinie beim Balkon bereits in verschiedene Abschnitte unterteilt, da pro Abschnitt der Elementabstand der ARBO Elemente konstant sein muss. In diesem Beispiel wird deshalb die Linie in Abschnitte von 0.5/3.0/0.5 m unterteilt.

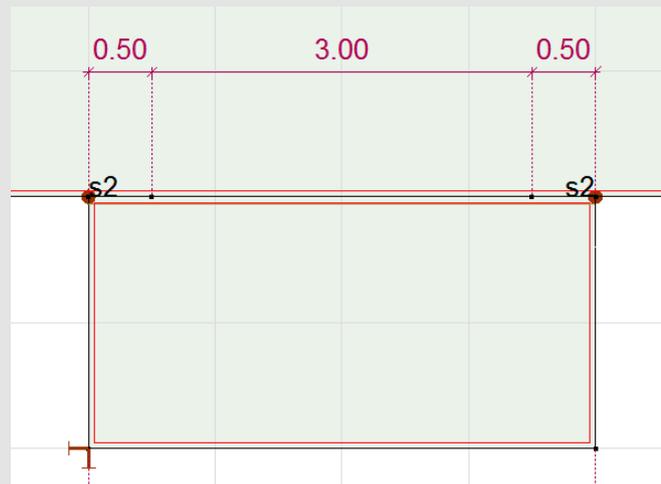


Bild 27: Beispiel 1: Unterteilung

Im Register „Elemente“ können schliesslich die ARBO Elemente definiert werden. Hierzu wird in der Symbolleiste auf das ARBO Symbol geklickt und anschliessend der Bereich des Balkons sowie der entsprechende Abschnitt der Fugenlinie angewählt. Darauf öffnet sich das Fenster zur Bestimmung der ARBO Elemente (Bild 28). Hierbei kann nun ARBO-418 mit einer Dämmstärke von 160 mm gewählt werden.

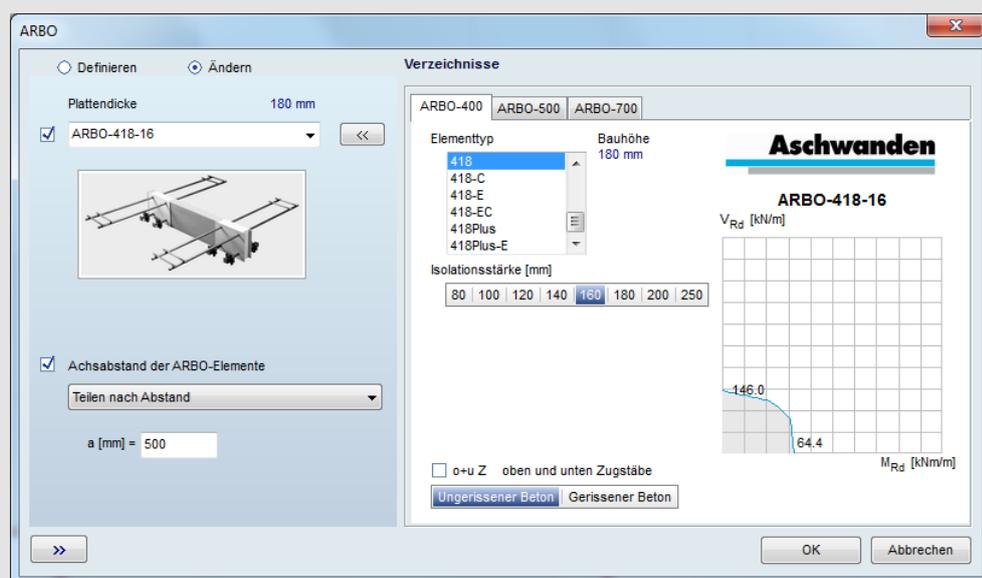


Bild 28: Beispiel 1: Auswahlfenster ARBO Elemente

Auf der linken Seite des Eingabefensters kann der Abstand (oder die Anzahl) der einzelnen ARBO Elemente eingegeben werden. Im Beispiel wird für eine erste Berechnung in allen Bereichen $a = 500$ mm eingesetzt. Bild 29 zeigt die angenommene Verteilung der ARBO Elemente für eine erste Berechnung.

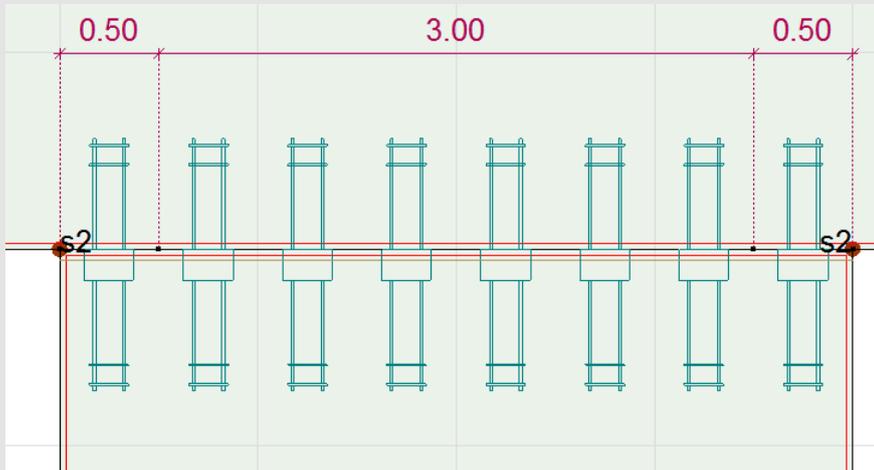


Bild 29: Beispiel 1: Verteilung der ARBO Elemente für eine erste Berechnung

Nach der statischen Berechnung kann die Ausnutzung der ARBO Elemente dargestellt werden. Dabei ermittelt die Software für die gewählte Elementverteilung unter Berücksichtigung der massgebenden Lastfallkombination die statische Ausnutzung wie im Bild 30 dargestellt.

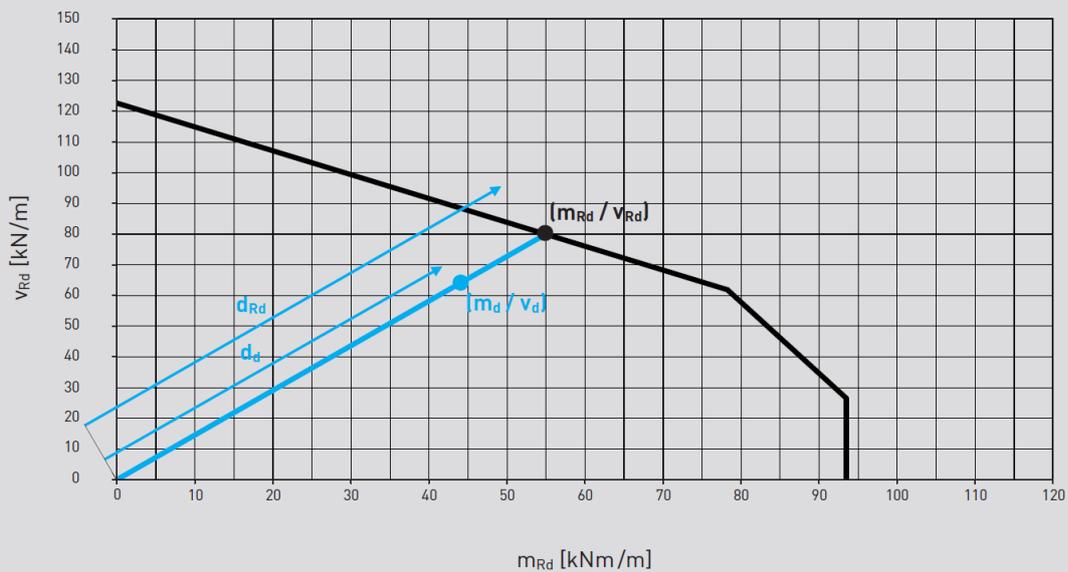


Bild 30: Statische Ausnutzung der ARBO Elemente

Die statische Ausnutzung ermittelt die Software aus dem Verhältnis d_d/d_{Rd} . Liegt der Punkt der Beanspruchung (m_d/V_d) innerhalb der Interaktionsfigur für den gewählten Abstand der Elemente ($d_d/d_{Rd} \leq 1.0$), ist der Tragsicherheitsnachweis erfüllt. Bild 31 zeigt die statische Ausnutzung für diese erste Berechnung mit generellem Elementabstand von 0.50 m. Während die Elemente im Randbereich überlastet sind (gestrichelte Elemente), sind jene im mittleren Bereich kaum ausgelastet.

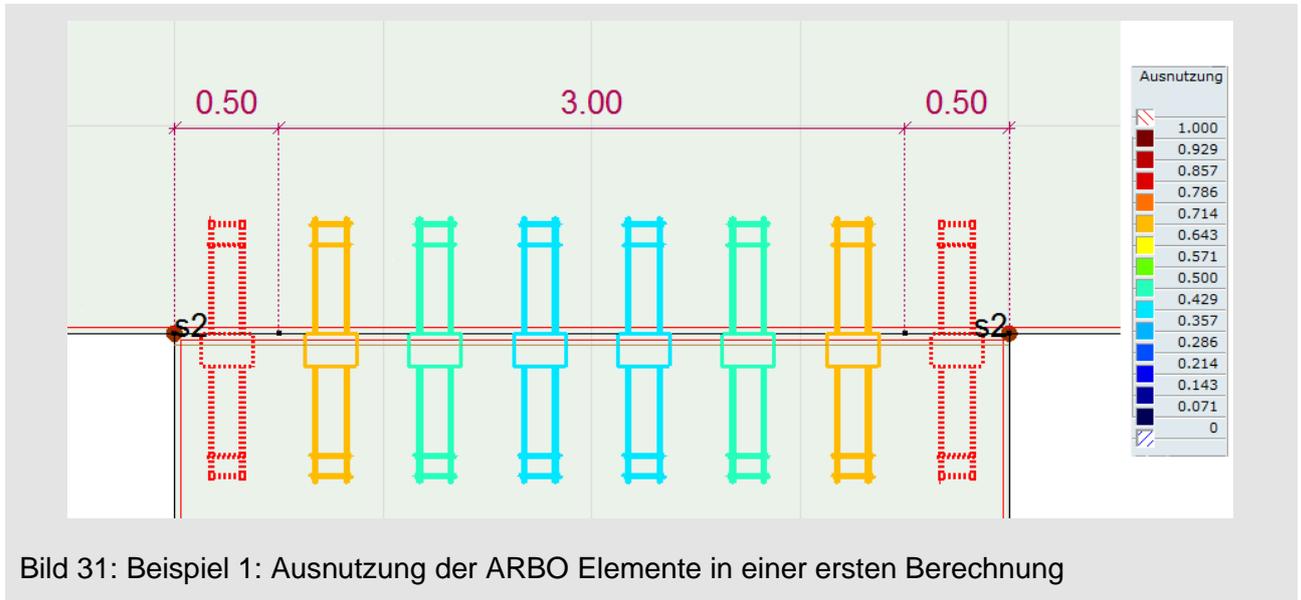


Bild 31: Beispiel 1: Ausnutzung der ARBO Elemente in einer ersten Berechnung

Der Anwender kann nun den Elementabstand durch Verschieben oder Löschen einzelner Elemente vergrössern und damit die Ausnutzung erhöhen. Die Software ermöglicht in einer zweiten Berechnung eine optimierte Verteilung der Elemente in einem Fugenbereich derart, dass die Elemente bestmöglich ausgenutzt werden. Hierzu kann im ARBO Eingabefenster bei der Definition des Abstands eine automatisch optimierte Anordnung gewählt werden.



Bild 32: Änderung des Elementabstands gemäss den Resultaten der statischen Berechnung

Da das Beispiel relativ einfach ist, wird die Anordnung der Elemente manuell erledigt. Die Anpassung des Elementabstands führt zu der in Bild 33 dargestellten Verteilung mit jeweils zwei Elementen im Randbereich und drei Elementen im mittleren Bereich. Zusätzlich zeigt Bild 33 die Ausnutzung der einzelnen ARBO Elemente an. Es wird ersichtlich, dass der Tragsicherheitsnachweis für alle Elemente erfüllt ist. Des Weiteren sind auch die Elemente im mittleren Bereich gut ausgelastet.

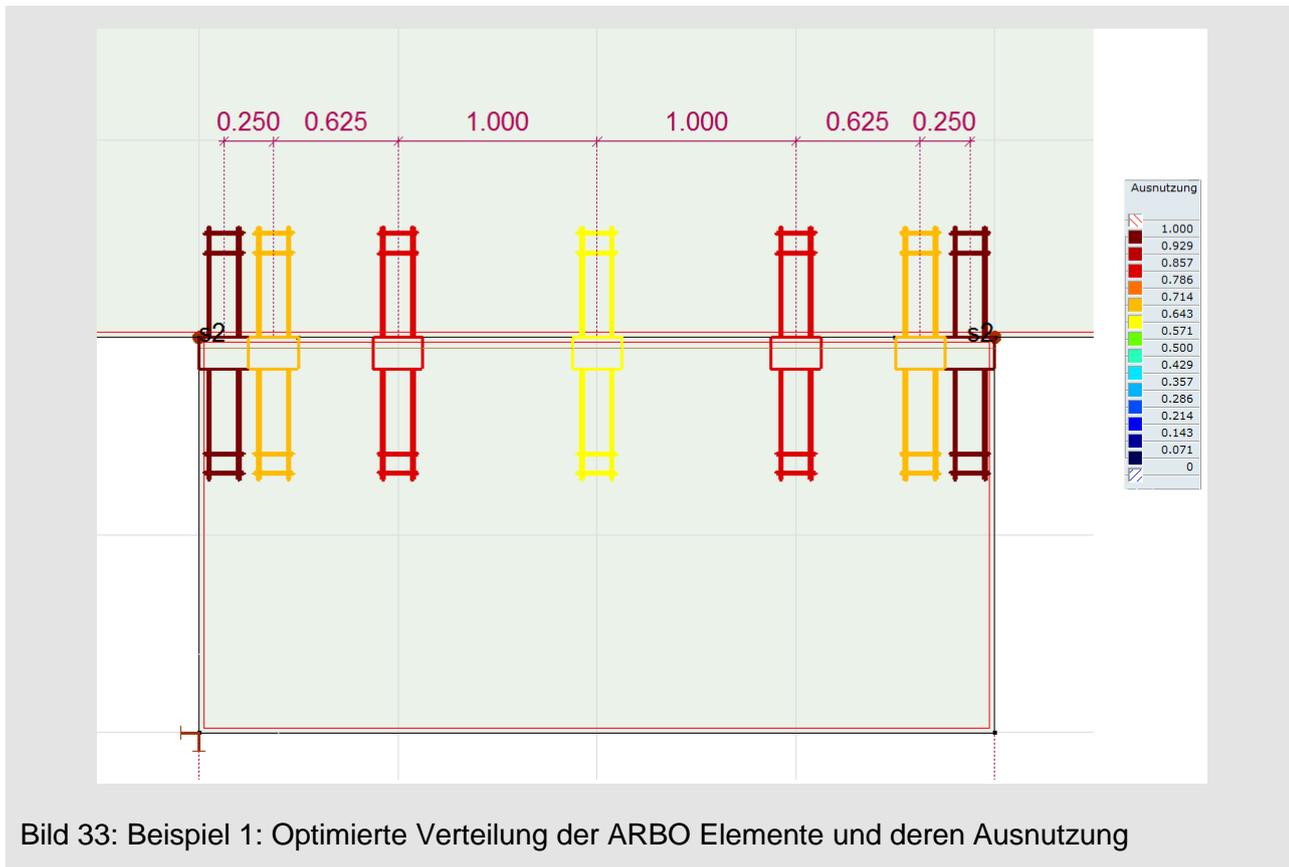
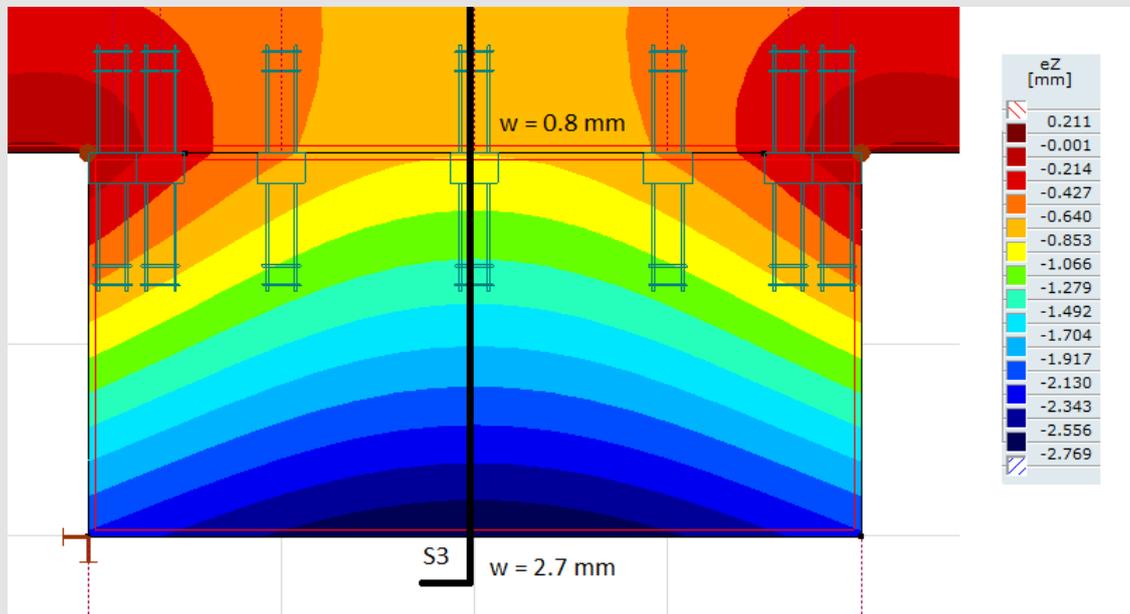


Bild 33: Beispiel 1: Optimierte Verteilung der ARBO Elemente und deren Ausnutzung

Durchbiegung

Der Nachweis der Durchbiegung der Platte kann ebenfalls direkt durchgeführt werden. Die Steifigkeit der ARBO Elemente ist bereits in der Modellierung enthalten. Somit kann direkt die linear-elastische Durchbiegung bestimmt werden.

Grundriss



Schnitt S3

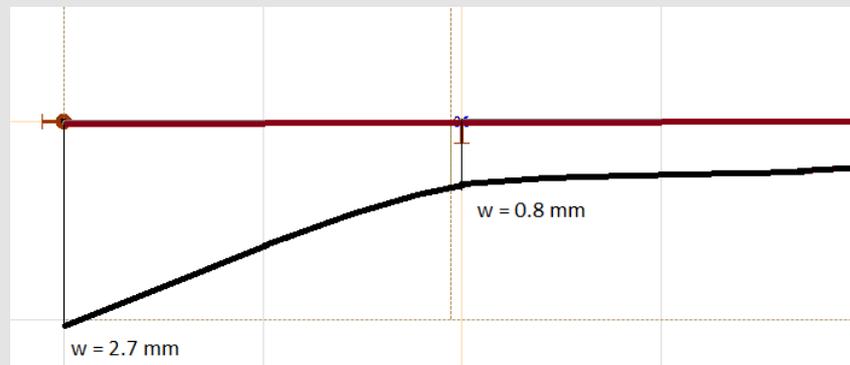


Bild 34: Beispiel 1: Linear-elastisch bestimmte Durchbiegung

Dies führt zu einer linear-elastisch bestimmten, massgebenden Durchbiegung der Balkonplatte von:

$$w_c = 2.7 - 0.8 = 1.9 \text{ mm}$$

Wie bereits bei der Bemessung mit einer allgemeinen FE-Software lässt sich schliesslich die Durchbiegung unter Berücksichtigung des gerissenen Querschnitts und der Langzeiteffekte bestimmen.

Mit Gleichung (102) aus der Norm SIA 262:2013 können der gerissene Querschnitt und die Langzeiteffekte mitberücksichtigt werden. Dies führt zu einer Durchbiegung von:

$$w = \frac{1 - 20 \cdot 0.0025}{10 \cdot 0.005^{0.7}} \cdot (0.75 + 0.1 \cdot 2) \cdot \left(\frac{180}{155}\right)^3 \cdot 1.9$$

$$w = 5.77 \cdot 1.9 = 11 \text{ mm}$$

Die zulässige Durchbiegung gemäss den Richtwerten der SIA 260:2014 ist:

$$w_{adm} = \frac{2 \cdot 2000}{300} = 13 \text{ mm}$$

Das heisst, dieser Balkon kann mit ARBO Elementen ohne Schalungsüberhöhung erstellt werden.

Im Vergleich zur Vordimensionierung sind die berechneten Verformungen um einiges grösser. Dies zeigt deutlich, dass eine Annahme als fest eingespannter Kragarm in vielen Fällen keine geeignete Modellannahme für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist. Es empfiehlt sich daher, den Gebrauchstauglichkeitsnachweis mithilfe einer FE-Berechnung zu führen.

Schwingungsanalyse

Bei der Schwingungsanalyse mit der ARBO/CRET Software bzw. AxisVM gibt es prinzipiell zwei Vorgehen. Einerseits kann eine gespeicherte Datei von einer parametrisierten Schwingungsanalyse (siehe Vordimensionierung) weiterbearbeitet werden. Dabei gilt es, grundsätzlich die Geometrie und die Lagerungsbedingungen anzupassen. Zusätzlich kann im Anschluss der Balkonplatte die in der parametrisierten Modellierung eingefügte Randgelenklinie gelöscht und durch die tatsächlich vorhandenen ARBO Elemente ersetzt werden. Andererseits kann eine bestehende ARBO/CRET bzw. AxisVM Modellierung von einer statischen Bemessung übernommen werden. Nachfolgend wird dargelegt, was bei diesem Vorgehen zu beachten ist.

Da bei der Schwingungsanalyse im Unterschied zu einer statischen FE-Berechnung mit der gerissenen Steifigkeit der Stahlbetonplatte zu rechnen ist, muss die Steifigkeit angepasst werden. Am einfachsten erfolgt dies durch Anpassung des E-Moduls. Generell ist die gerissene Steifigkeit vom dynamischen E-Modul des Betons und vom Biegebewehrungsgehalt abhängig. Näherungsweise kann der E-Modul angenommen werden als:

$$E_{modell} = \frac{E_{c0}}{3}$$

wobei E_{c0} der statische E-Modul des Betons ist.

Bei der Eingabe der ARBO Elemente ist darauf zu achten, dass die Steifigkeit für eine gerissene Querschnittsmodellierung gewählt wird (Siehe Bild 35).

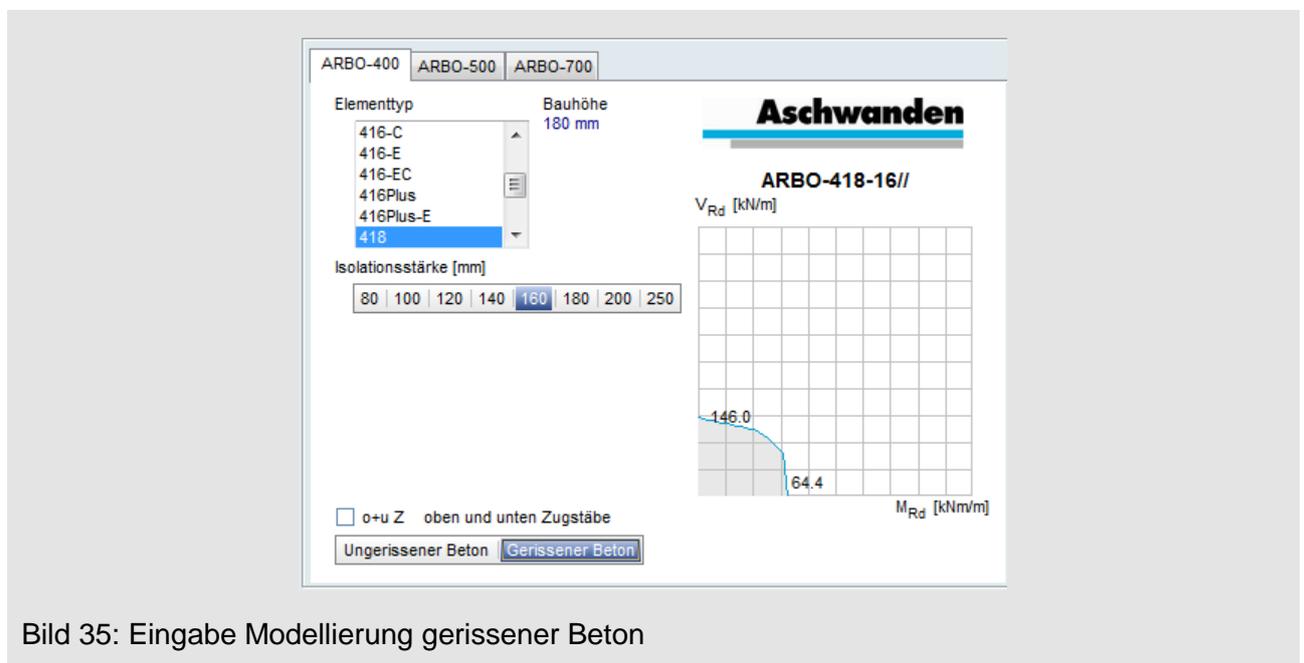


Bild 35: Eingabe Modellierung gerissener Beton

Anschliessend kann im Register „Eigenfrequenzen“ die Schwingungsanalyse gestartet werden. Es ist darauf zu achten, dass die quasi-ständigen Lasten in Massen umgerechnet werden. Dies kann durch die Wahl der entsprechenden Lastkombination (manuell erstellt) und durch die Wahl „Konvertiere Lasten in Massen“ erreicht werden.

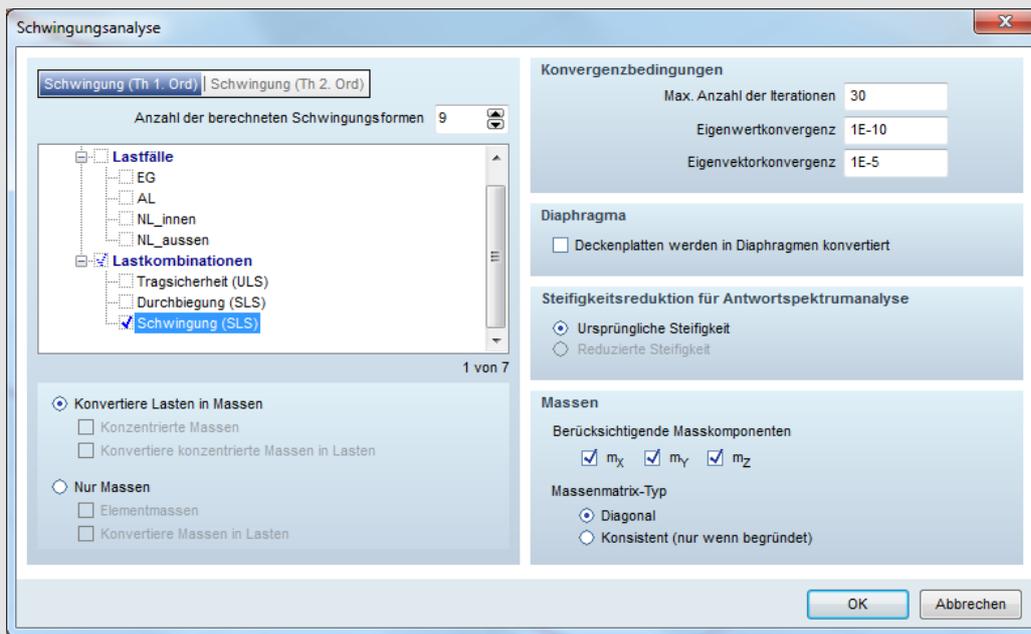


Bild 36: Eingabeaufforderung für Schwingungsanalyse

Die Schwingungsanalyse ergibt eine 1. Eigenfrequenz von 5.5 Hz. Diese Eigenfrequenz ist grundsätzlich über 4.5 Hz, die in Analogie zu Fussgängerbrücken vermieden werden sollte. Die eher tiefe Frequenzzahl ergibt sich in erster Linie aufgrund der Schlankheit der Kragplatte mit 0.18 m Dicke und 2.0 m Länge und weniger infolge der ARBO Elemente. Eine durchgehende Platte hätte eine Eigenfrequenz von 6.9 Hz.

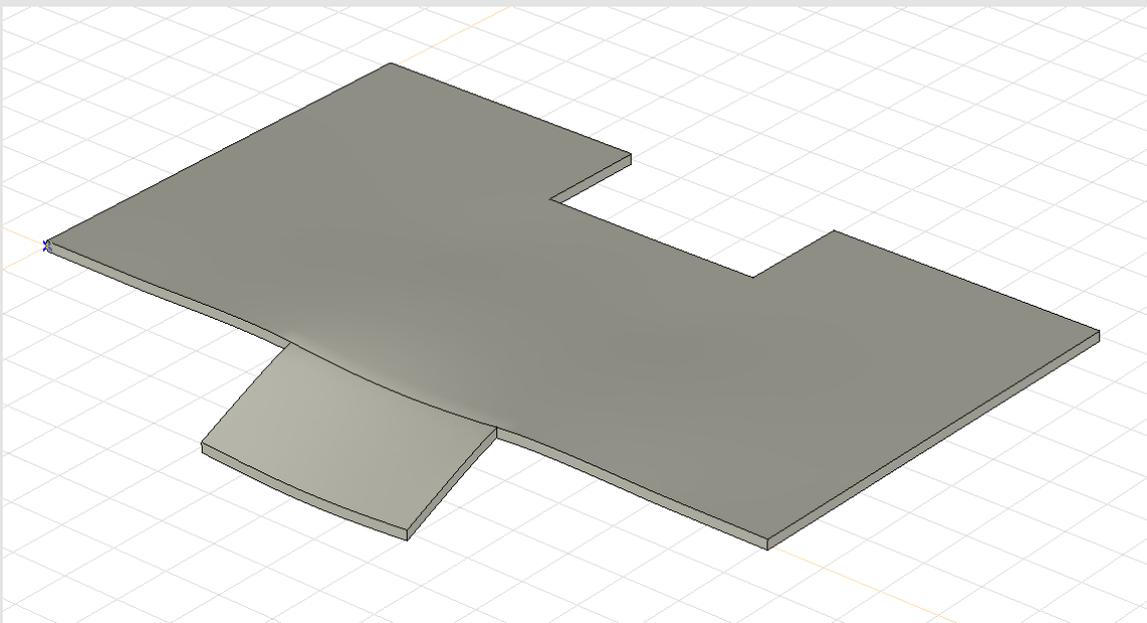


Bild 37: Beispiel 1: Schwingungsmodus der 1. Eigenfrequenz

Allerdings lässt sich auch feststellen, dass die Eigenfrequenzen sinken, falls Elemente mit geringerer Biegesteifigkeit verwendet werden. Bei einer Reduktion der Biegesteifigkeit von 450 kNm^2 auf 268 kNm^2 , was einem Durchmesser von Zug- und Druckstab von 12 mm und ohne Schublech entspricht, würde beispielsweise eine Eigenfrequenz von 4.7 Hz erreicht. Dies wäre bereits sehr nahe an der zu vermeidenden Eigenfrequenz von 4.5 Hz. Während die geringere Steifigkeit beim Verformungsnachweis mithilfe einer Schalungsüberhöhung noch mit entsprechendem Mehraufwand kompensiert werden kann, gibt es bei der Schwingungsanalyse nur die Möglichkeit, mehr Elemente einzubauen als für die Tragsicherheit notwendig sind. Dies führt allerdings zu einer erheblichen Verschlechterung der Wärmedämmleistung.

Thermische Untersuchung

Für die thermische Betrachtung ist grundsätzlich der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient massgebend. Dieser Wert ist für die verschiedenen Typen in den entsprechenden technischen Dokumentationen in Diagrammen ersichtlich. Es gilt jedoch anzumerken, dass diese Werte nur exakt für das untersuchte Modell stimmen. Allerdings können für ähnliche Wandaufbauten ähnliche Werte erwartet werden.

Im Wesentlichen sind neben dem Elementtyp die Dämmstärke und der Elementabstand die entscheidenden Parameter für den Wärmedurchgang. Im Beispiel wird eine Dämmstärke von 160 mm verwendet. Für den Elementabstand ergab der Tragsicherheitsnachweis einen Wert von 0.25 m im Randbereich und einen durchschnittlichen Wert von 0.75 m im mittleren Bereich.

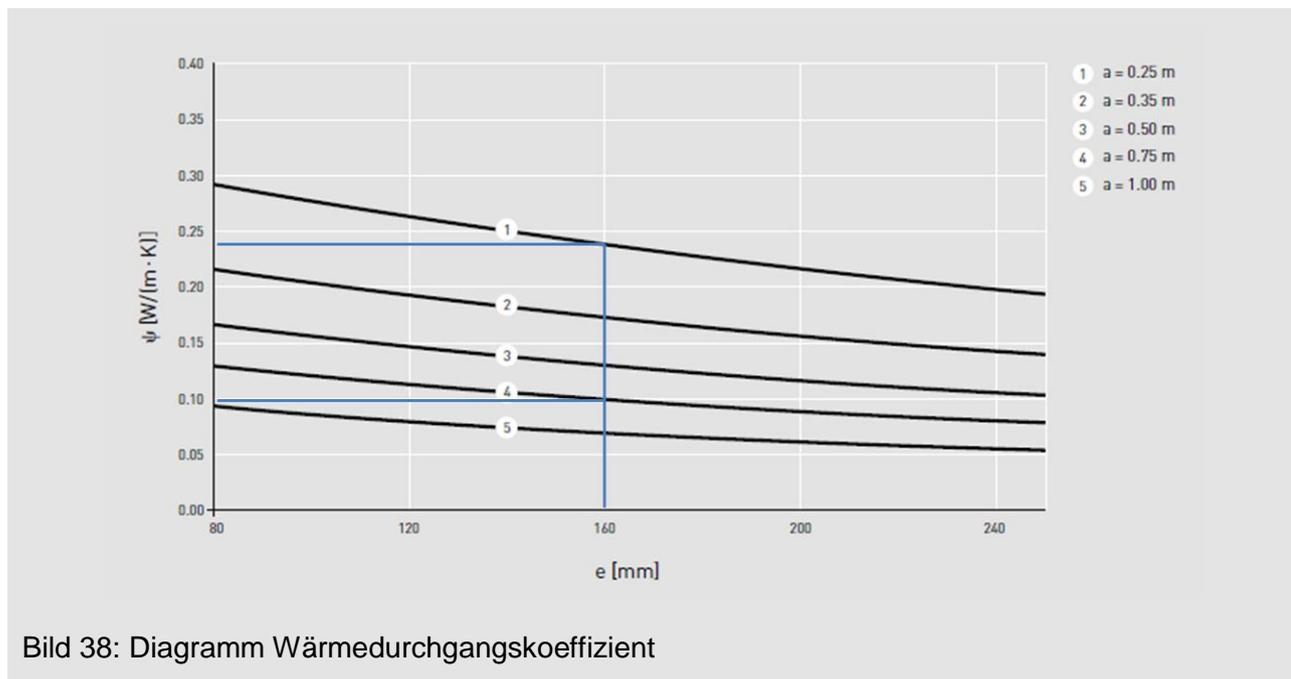


Bild 38: Diagramm Wärmedurchgangskoeffizient

Um den Wärmedurchgang im Anschlussbereich des Balkons zu bestimmen, wird der aus dem Diagramm herausgelesene Wert mit den entsprechenden Längen multipliziert. Somit ergibt sich für dieses Beispiel ein Wärmedurchgang von

$$Q = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,24 + 3 \cdot 0,10 = 0,54 \text{ W/K}$$

Dies führt zu einem mittleren längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten entlang des Balkons von

$$\bar{\psi} = \frac{0,54}{4} = 0,135 \text{ W/(m·K)}$$

Somit zeigt sich, dass für diesen Balkon dank der ARBO Elemente sogar der Zielwert der Norm SIA 380/1:2009 ($\psi = 0,15 \text{ W/(m·K)}$) eingehalten ist.

9. Bezeichnungen

a	Elementabstand
d	Statische Höhe
Δm_i	Zusatzmasse infolge Auflast und quasi-ständiger Nutzlast im Gebäudeinnern
Δm_a	Zusatzmasse infolge Auflast und quasi-ständiger Nutzlast auf dem Balkon
Δw	Verformungsanteil infolge ARBO Element
e	Isolationsstärke
E_{c0}	Statischer E-Modul des Betons
EI_{EL}	Biegesteifigkeit des ARBO Elements
EI_0^I	Kurzzeitwert der Biegesteifigkeit der ungerissenen Stahlbetonplatte
EI_∞^II	Langzeitwert der Biegesteifigkeit der gerissenen Stahlbetonplatte
f_{Rsi}	Oberflächentemperaturfaktor
φ	Kriechzahl
g_d	Bemessungswert der Einwirkungen aus Eigengewicht und Auflast
h	Plattenstärke bzw. Elementhöhe
K	Rotationssteifigkeit
L'_{tot}	Bewertete Standard Trittschallpegel
L'	Anforderungswerte für den Trittschall
l	Länge
l_k	Kragarmlänge
λ	Wärmeleitfähigkeit
m_d	Biegeeinwirkung
$m_{d,ser}$	Biegeeinwirkung auf Gebrauchsniveau
m_{Rd}	Biegewiderstand
Q	Wärmestrom
q_d	Bemessungswert der Einwirkungen aus Nutzlast
R	Steifigkeit der Lagerung (FE-Berechnung)
R_{si}	innerer Wärmeübergangskoeffizient
R_{se}	äusserer Wärmeübergangskoeffizient
ρ	Biegebewehrungsgehalt der Zugzone
ρ'	Biegebewehrungsgehalt der Druckzone
θ_i	Lufttemperatur im Gebäudeinnern
θ_e	Lufttemperatur aussen
$\theta_{si,min}$	minimale Bauteiloberflächentemperatur im Gebäudeinnern
U	Wärmedurchgangskoeffizient
V_d	Querkrafteinwirkung
V_{Rd}	Querkraftwiderstand
w	Verformung
w_{adm}	Zulässige Verformung
w_c	Linear-elastisch bestimmte Verformung
ψ	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

Bemerkungen zum vorliegenden Dokument

Dokumentationen erfahren laufend Änderungen aufgrund der aktualisierten Normen und der Weiterentwicklung.

Die aktuell gültige Version dieses Fachreferats befindet sich auf unserer Website.

Im Weiteren verweisen wir auf unsere AGB's.

02.2017 Copyright © by

F.J. Aschwanden AG CH-3250 Lyss T 032 387 95 95 F 032 387 95 99

www.aschwanden.com info@aschwanden.com

Aschwanden

