

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der
Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt
(<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the
main library of the Vienna University of Technology
(<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

D I P L O M A R B E I T

M A S T E R ' S T H E S I S

Erstellung eines Bemessungsprogramms für Randbalkenbefestigungen in MS Excel

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter der Anleitung von

Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz**, M.Sc.
EDV-Zentrum Bauingenieurwesen
Fakultät für Bauingenieurwesen
Technische Universität Wien

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Andreas Kolbitsch**
Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich Hochbaukonstruktion und Bauwerkserhaltung
Fakultät für Bauingenieurwesen
Technische Universität Wien

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Gerhard Kidery

Matr.Nr.: 0427590
Reindorfstraße 33/12
A - 1150 Wien

Wien, im Februar 2011

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit direkt oder indirekt unterstützt haben und ohne denen es mir nicht möglich gewesen wäre, diese Arbeit zu vollenden.

Bedanken möchte ich mich bei meinen Betreuern seitens der Fa. Hilti, Herrn Dipl.-Ing. Martin Fellinghauer sowie Herrn Dipl.-Ing. Dietmar Gobitzer, für die stets gute Zusammenarbeit.

Auch möchte ich mich im Besonderen bei meinen Eltern bedanken, die mich in jeder Phase meiner Ausbildung nach Kräften unterstützt haben und auch diese Arbeit korrekturgelesen haben.

Besonderer Dank gebührt Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Schranz, der mich nicht nur fachlich sondern auch emotional unterstützt hat und mit dem mich eine längere Freundschaft verbindet.

Dank gebührt auch meiner Freundin Amrei Beck, die während meines gesamten Studiums und insbesondere im letzten dreiviertel Jahr auf viel gemeinsame Zeit verzichten musste und trotzdem stets ein offenes Ohr für mich hatte.

Gerhard C. Kidery im Februar 2011

Abstract

The objective of this diploma thesis was to develop a program for designing edge beam anchorages for the company Hilti. The program commissioned by the company was written in MS Excel. The program enables the user to design and calculate single and double row arrays of anchors using the anchor systems BAD HVZ and HRB TZ. It allows the user to calculate the loads caused by noise protection walls or guide rails in accordance with RVS 15.04.71 as well as all other loads. On the one hand, the design of the program called "HILTI RANDBALKEN 1.0" allows the user to work intuitively and to achieve the required results quickly. On the other hand, it provides the company with easy maintenance of the program and the included database.

The paper includes a detailed description of the program design including all the relevant MS Excel features and programming techniques. The program does not use any macro programming, which makes its usage a lot easier and more user-friendly. In the next section all programmed computations are explained and proved in detail, based on all the different sets of standards in use. All the proofs and analyses deal with the calculations to guarantee a proper connection of both anchor systems (BAD HVZ and HRB TZ) with the supporting structure as well as with the edge beams. In the following section two worked examples are shown and analysed in more detail. The example for anchor system BAD HVZ is first calculated by hand and then run through using the program. Due to the similarities, the differences are analysed and explained in more detail in the example for anchor system HRB TZ. Appendices A and B contain the respective printouts of the two worked examples.

Kurzfassung

Ziel dieser Diplomarbeit war die Entwicklung eines Programms zur Bemessung von Randbalkenbefestigungen. Dieses von der Fa. Hilti in Auftrag gegebene Programm wurde in MS Excel realisiert. Es erlaubt die Bemessung von ein- oder zweireihigen Dübelanordnungen der Dübelssysteme BAD HVZ sowie HRB TZ. Die Lasten können aus einer Lärmschutzwand, einem Rückhaltesystem gemäß RVS 15.04.71 sowie allgemeinen Lasten bestehen. Der Programmaufbau gewährleistet einerseits für den Benutzer eine intuitive Benutzbarkeit und eine rasche Ergebnisfindung sowie andererseits für die Fa. Hilti eine einfache Wartung des Programms.

Die gegenständliche schriftliche Arbeit beinhaltet eine detaillierte Beschreibung des Programmaufbaus, inklusive wichtiger verwendeter MS Excel Funktionen und Programmiertechniken. Das Programm „HILTI RANDBALKEN 1.0“ verzichtet komplett auf Makroprogrammierung; dies erlaubt eine universellere Nutzung. Im Anschluss werden sämtliche programmierte Nachweise nach den entsprechenden Normenwerken diskutiert. Die Nachweise behandeln dabei die Verbindung der beiden Dübelssysteme BAD HVZ und HRB TZ mit dem Tragwerk sowie dem Randbalken. Auf die Programmbeschreibung folgen zwei Berechnungsbeispiele. Das Beispiel für das Dübelssystem BAD HVZ ist händisch sowie mithilfe der Software „HILTI RANDBALKEN 1.0“ berechnet. Im Beispiel für das Dübelssystem HRB TZ werden aufgrund der Ähnlichkeiten die Unterschiede zum vorher erwähnten Dübelssystem genauer behandelt. Die Anhänge A und B enthalten die jeweiligen Programmausdrucke zu den Berechnungsbeispielen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Anforderungen an das Programm HILTI RANDBALKEN	2
1.1.1	Dübelsystem BAD HVZ HCR	2
1.1.2	Dübeltyp HRB TZ HCR	3
1.2	Verwendete Normen	4
1.2.1	Kompatible Versionen von MS Excel	5
2	Programmbeschreibung	6
2.1	Programmkonzept	6
2.1.1	Modularer Aufbau	6
2.1.2	Namenskonvention für Variablen	7
2.1.3	Verwendete MS Excel-Funktionen	9
2.1.4	Sichtbarkeiten der Tabellenblätter	13
2.2	Tabellenblätter für Benutzer	14
2.2.1	Tabellenblatt Eingabe	14
2.2.2	Tabellenblatt – Ausgabe BAD HVZ HCR	17
2.2.3	Tabellenblatt – Ausschreibungsbeispiel BAD HVZ HCR	18
2.2.4	Tabellenblatt – Ausgabe HRB TZ HCR	21
2.2.5	Tabellenblatt – Ausschreibungsbeispiel HRB TZ HCR	21
2.2.6	Tabellenblatt – Disclaimer	21
2.3	Tabellenblätter – Datentabellen	21
2.3.1	Tabellenblatt – Dat_Rückh.	21
2.3.2	Tabellenblatt – Dat_Dübel	22
2.3.3	Tabellenblatt – Dat_Betone	25
2.3.4	Tabellenblatt – Dat_Grafik	26
2.4	Tabellenblätter – Berechnungskern	27
2.4.1	Lasterzeugung – Präprozessor	27
2.4.2	Rechenkern – BAD HVZ HCR im Tragwerk nach ETAG Annex C	33
2.4.3	Rechenkern – HRB TZ HCR im Tragwerk nach EOTA Technical Report 029	38
2.4.4	Rechenkern – BAD HVZ HCR und HRB TZ HCR im Randbalken	43
3	Berechnungsbeispiel BAD HVZ HCR	48
3.1	Angabewerte für das Berechnungsbeispiel BAD HVZ HCR	49
3.1.1	Generelle Einstellungen	49

3.1.2	Geometrische Einstellungen	50
3.1.3	Eingabe der Belastungen, des Rückhaltesystems und der Lärm- schutzwand	50
3.1.4	Eingabe der Verdübelungen	50
3.2	Lastaufstellung – Präprozessor	51
3.2.1	Eigengewicht des Randbalkens	51
3.2.2	Lasten aus Rückhaltesystem	52
3.2.3	Lasten aus Lärmschutzwand	53
3.2.4	Lastfallerzeugung	54
3.2.5	Zerlegung in Dübelkräfte	55
3.2.6	Bereitstellung der Dübelkräfte für die anderen Tabellenblätter .	56
3.3	Nachweise Dübel – Tragwerk	57
3.3.1	Zentrischer Zug – Stahlversagen	57
3.3.2	Zentrischer Zug – Herausziehen	57
3.3.3	Zentrischer Zug – Betonausbruch	58
3.3.4	Zentrischer Zug – Spalten bei Belastung	59
3.3.5	Querkraft – Stahlversagen	60
3.3.6	Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout) .	60
3.3.7	Querkraft – Betonkantenbruch	61
3.3.8	Interaktion – Normalkraft – Querkraft	63
3.4	Nachweise Dübel – Randbalken	64
3.4.1	Zentrischer Zug – Stahlversagen	64
3.4.2	Zentrischer Zug – Herausziehen	64
3.4.3	Zentrischer Zug – Betonausbruch	65
3.4.4	Zentrischer Zug – Spaltbruch	66
3.4.5	Zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch	67
3.4.6	Querkraft – Stahlversagen ohne Hebelsarm	68
3.4.7	Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout) .	68
3.4.8	Querkraft – Betonkantenbruch	69
3.4.9	Interaktion – Normalkraft – Querkraft	69
4	Berechnungsbeispiel HRB TZ HCR	71
4.1	Angabewerte für das Berechnungsbeispiel HRB TZ HCR	71
4.1.1	Generelle Einstellungen	71
4.1.2	Geometrische Einstellungen	73
4.1.3	Eingabe der Belastungen, des Rückhaltesystems und der Lärm- schutzwand	73
4.1.4	Eingabe der Verdübelungen	74
4.2	Lastaufstellung – Präprozessor	74
4.2.1	Eigengewicht des Randbalkens	75
4.2.2	Lasten aus Rückhaltesystem	75
4.2.3	Lasten aus Lärmschutzwand	75
4.2.4	Lastfallerzeugung	76
4.2.5	Zerlegung in Dübelkräfte	76

4.2.6	Bereitstellung der Dübelkräfte für die anderen Tabellenblätter	79
4.3	Nachweise Dübel – Tragwerk	79
4.3.1	Zentrischer Zug – Stahlversagen	79
4.3.2	Zentrischer Zug – kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch	79
4.3.3	Zentrischer Zug – Versagen durch Betonausbruch	80
4.3.4	Zentrischer Zug – Spalten bei Belastung	80
4.3.5	Querkraft – Stahlversagen	81
4.3.6	Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)	82
4.3.7	Querkraft – Betonkantenbruch	82
4.3.8	Interaktion – Normalkraft – Querkraft	83
4.4	Nachweise Dübel – Randbalken	83
4.4.1	Zentrischer Zug – Stahlversagen	83
4.4.2	Zentrischer Zug – Herausziehen	84
4.4.3	Zentrischer Zug – Betonausbruch	84
4.4.4	Zentrischer Zug – Spaltbruch	85
4.4.5	Zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch	85
4.4.6	Querkraft – Stahlversagen ohne Hebelsarm	85
4.4.7	Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)	86
4.4.8	Querkraft – Betonkantenbruch	86
4.4.9	Interaktion – Normalkraft – Querkraft	86
5	Zusammenfassung	88
A	Beispielausdruck zu Kapitel 3	91
B	Beispielausdruck zu Kapitel 4	101

Kapitel 1

Einleitung

Konventionelle Betonbrücken haben normalerweise Randbalken aus Ortbeton. Die Randbalken dienen dabei nicht nur als Abgrenzung der Fahrbahn mit Schrammbord sowie als Gehweg, sondern auch als Befestigungsgrund für Teile der Brückenausrüstung wie beispielsweise Rückhaltesysteme und Lärmschutzwände. Die Verbindung zum Tragwerk erfolgt über Dübel. Die Sicherheit dieser Verbindung muss nach diversen Normenwerken und durch zeitintensive Berechnungen nachgewiesen werden.

Ein bekannter Dübelhersteller ist die Firma Hilti mit Sitz in Schaan, Liechtenstein. Diese bietet ihren Kunden ein Bemessungsprogramm für Randbalkenbefestigungen mit Hilti-Dübelssystemen. Das zum Zeitpunkt des Beginns der Arbeit angebotene Bemessungsprogramm wurde von Dipl.-Ing. Martin Fellinghauer im Zuge seiner Anstellung bei der Firma Hilti entwickelt. Eine Änderung der gültigen Normensysteme sowie eine Änderung der angebotenen Dübelssysteme machte die Adaptierung des angebotenen Bemessungsprogramms notwendig.

Die Firma Hilti bietet nun ein neues Dübelssystem an, das im zuvor erwähnten Bemessungsprogramm noch nicht integriert war. Zusätzlich erfolgt die Berechnung dieses Dübelystems nach einem anderen Normenwerk [2]. Daher wurde die Entscheidung getroffen, das Bemessungsprogramm komplett neu zu entwickeln. Dies bot die Möglichkeit den Nutzerkomfort durch eine intuitivere Benutzeroberfläche und eine Integration zusätzlicher Belastungsarten stark zu steigern. So können nun neben den Anpralllasten alle in Österreich vom BMVIT zugelassenen Rückhaltesysteme gemäß RVS 15.04.71 „Rückhaltesysteme auf Brücken“ [8] direkt ausgewählt werden. Zusätzlich ermöglicht das Programm, Lasten aus Lärmschutzwänden sowie aus individuellen ständigen Lasten zu berücksichtigen. Das Ergebnis dieser an der Fakultät für Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Wien erstellten Diplomarbeit ist das Programm HILTI RANDBALKEN.

1.1 Anforderungen an das Programm HILTI RAND-BALKEN

Die Firma Hilti stellt folgende Anforderungen an das Bemessungsprogramm:

- Nachweis für eine oder zwei Dübelreihen möglich
- Nachweis für Dübelssysteme BAD HVZ HCR sowie HRB TZ HCR
- Lasten aus Rückhaltesystemen nach RVS 15.04.71 direkt auswählbar
- Lasten aus Lärmschutzwand berücksichtigbar
- einfache Benutzbarkeit, intuitive Benutzerführung, rasche Ergebnisfindung
- Programmierung in MS Excel, daher ohne eigene Installation nutzbar

Das entwickelte Programm HILTI RANDBALKEN erfüllt sämtliche Anforderungen, auf die im Folgenden genauer eingegangen wird.

1.1.1 Dübelssystem BAD HVZ HCR

Das Dübelssystem BAD HVZ HCR ist ein etabliertes Produkt der Firma Hilti. Es handelt sich dabei um einen Klebeanker mit fixer Einbindetiefe (siehe Abbildung 1.1).

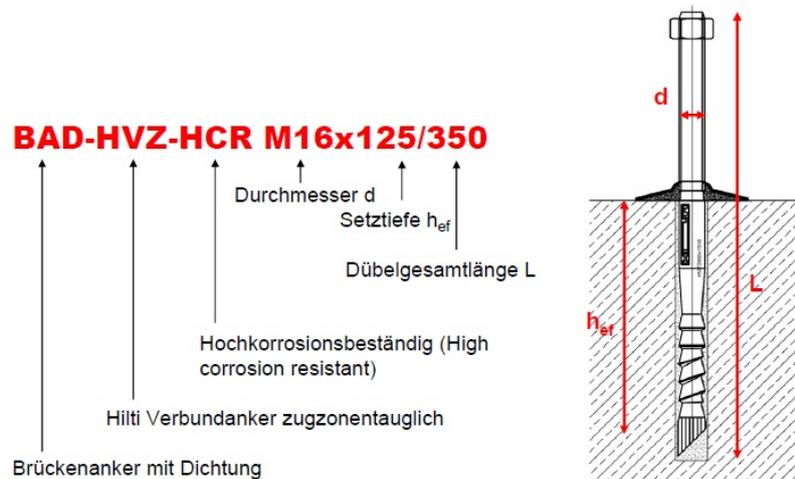


Abbildung 1.1: Dübelssystem BAD HVZ HCR: Erklärung der Bezeichnung

Die einzelnen Abkürzungen stehen für:

- **BAD** ... Brückenanker mit Dichtung
- **HVZ** ... Hilti Verbundanker, zugzonentauglich
- **HCR** ... high corrosion resistant (hochkorrosionsbeständig)
- **M16x125/350** ... Durchmesser M16, Verankerungstiefe 125 mm, Gesamtlänge 350 mm (es stehen verschiedene Ankerdimensionen zur Verfügung)

Die Vorteile dieses Dübelsystems liegen in der großen Tragfähigkeit, auch bei geringen Setzabständen. Dies wird durch die spezielle Formgebung der Ankerstange erreicht (siehe Abbildung 1.2). Die Ankerstangen müssen in der vom Hersteller angegebenen Art und Weise eingebaut werden, um ihre volle Tragfähigkeit zu erreichen. Da die Ankerstangen die Brückenabdichtung durchdrörtern, werden die Ankerstangen gemeinsam mit einer entsprechenden Injektionsscheibe geliefert (siehe Abbildung 1.2). Beim Versetzen der Ankerstange stellt diese Injektionsscheibe (Dichtungsscheibe), gemeinsam mit dem Klebemörtel, die Abdichtungsebene zwischen Tragwerk und Fahrbahn wieder her.

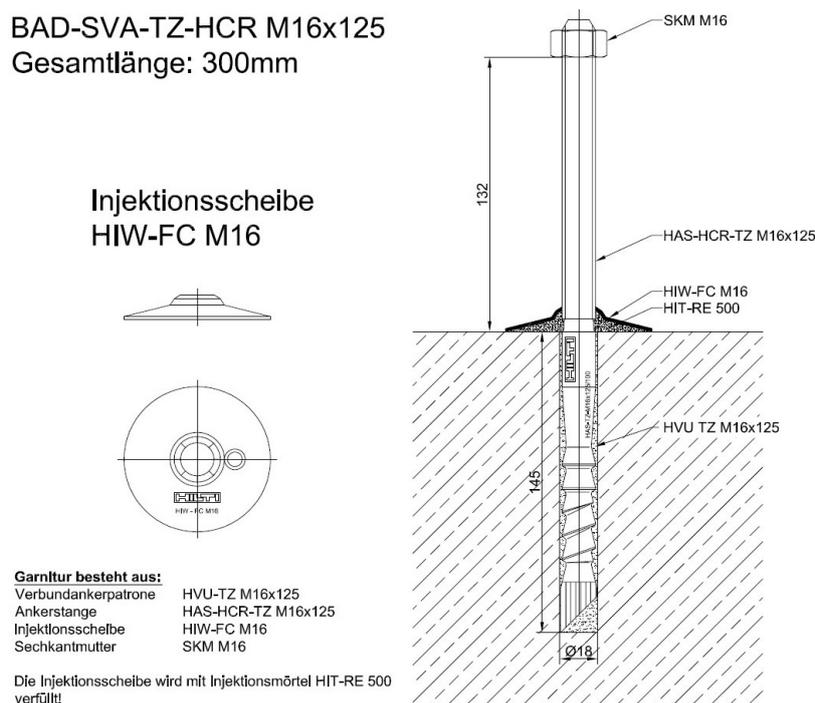


Abbildung 1.2: Grafische Darstellung des Dübelsystems BAD inklusive Injektionsscheibe

1.1.2 Dübeltyp HRB TZ HCR

Das Dübelsystem HRB TZ HCR ist ein neueres Produkt der Firma Hilti. Es handelt sich dabei um eine Gewindestange, welche im Bohrloch mit Kunstharzmörtel verklebt wird. Dies erlaubt die Setztiefe in gewissen Grenzen frei zu wählen. Dieses war bis dato noch nicht im Bemessungsprogramm berücksichtigt. Abbildung 1.3 zeigt die Erklärung der einzelnen Abkürzungen:

- **HRB** ... Hilti Randbalkenanker
- **TZ** ... tension zone, (zugzonentauglich)
- **HCR** ... high corrosion resistant (hochkorrosionsbeständig)
- **M16x330** ... Durchmesser M16, Gesamtlänge 330 mm, Verankerungslänge variabel (es stehen verschiedene Ankerdimensionen zur Verfügung)

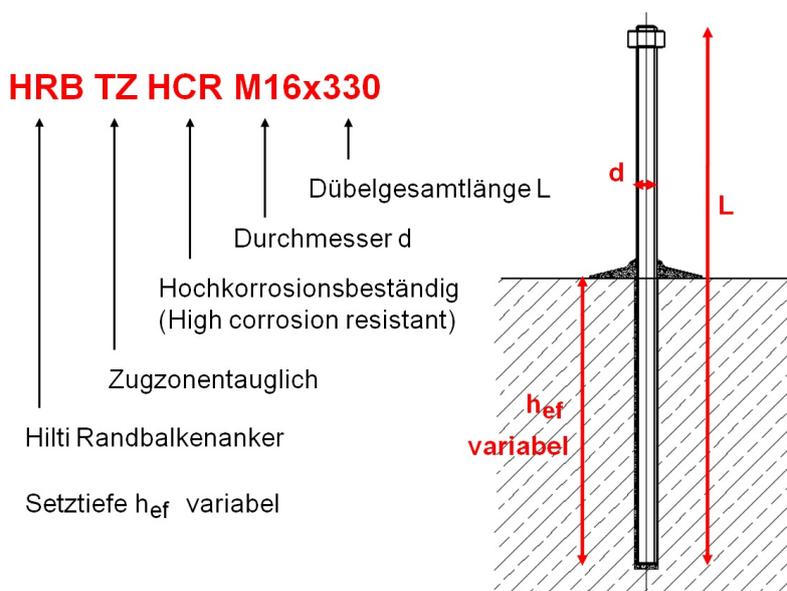


Abbildung 1.3: Dübelssystem HRB TZ HCR: Erklärung der Bezeichnung

Die Vorteile dieses Dübel systems liegen in der freien Wählbarkeit der Verankerungslänge (siehe Abbildung 1.4). Dieses System ist daher auch bei geringen Tragwerksstärken sehr flexibel einsetzbar. Die Variabilität der Einbindetiefe erlaubt im Vergleich zum Dübel system BAD HVZ HCR eine bessere Anpassung an die Lastsituation und Bauteilgeometrie; dies führt zu wirtschaftlicheren Verbindungen. Dieses Dübel system besitzt ebenfalls eine Dichtscheibe, um die Funktion der durchörterten Brückenabdichtung wiederherzustellen. Im Programm HILTI RANDBALKEN sind einige Standardlängen schon voreingestellt. Darüberhinaus besteht auch die Möglichkeit, die Dübellänge frei zu wählen.

1.2 Verwendete Normen

Das Programm HILTI RANDBALKEN wurde nach den gebräuchlichen Normen für die Bemessung von Dübelbefestigungen programmiert. Es sind aufgrund der Gegebenheiten im Randbalken folgende drei Nachweisarten erforderlich:

- Nachweis Dübel system BAD HVZ HCR im Tragwerk
- Nachweis Dübel system HRB TZ HCR im Tragwerk
- Nachweis beider Dübel systeme im Randbalken

Der Nachweis des Dübel systems BAD HVZ HCR im Tragwerk wird gemäß EOTA Leitlinie „Metalldübel zur Verankerung im Beton“ Annex C Bemessungsverfahren A [1] geführt. Die genaue Vorgehensweise ist in Kapitel 2.4.2 (ab Seite 33) beschrieben.

Der Nachweis des Dübel systems HRB TZ HCR im Tragwerk wird gemäß EOTA Technical Report TR029[2] geführt. Kapitel 2.4.3 (ab Seite 38) beschäftigt sich mit diesen Nachweisen.

HRB-TZ-HCR M16x330 Gesamtlänge: 330mm

besteht aus:
 Injektionsmörtel
 Ankerstange
 Dichtscheibe
 Kopfbolzenmutter

HILTI HIT-RE 500-SD
 HIT-V-HCR M16x330
 HIW-SD M16
 SKM M16

Die Dichtscheibe wird beim Setzvorgang mit Injektionsmörtel
 HILTI HIT-RE 500-SD verfüllt!

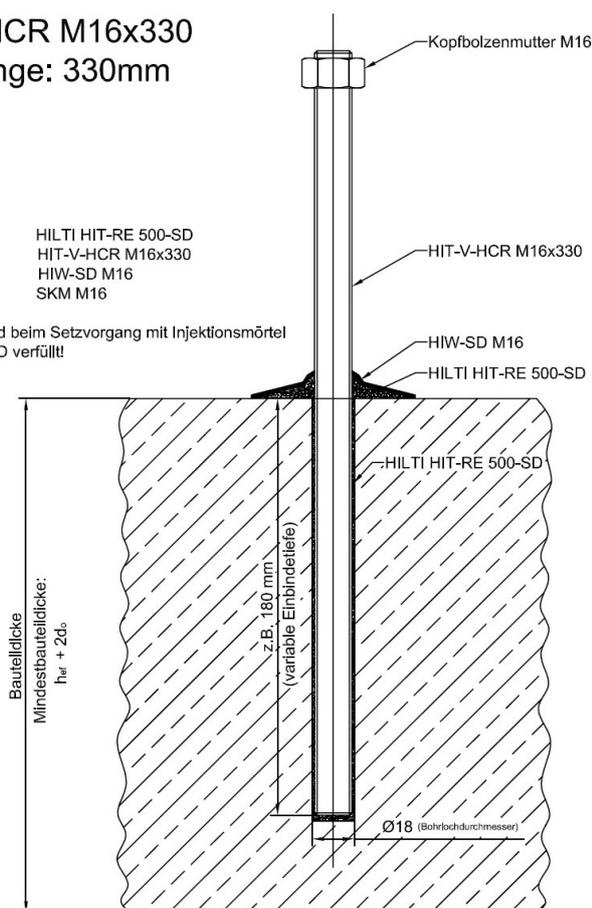


Abbildung 1.4: Grafische Darstellung des Dübelsystems HRB TZ HCR inklusive Injektions-scheibe

Der Nachweis der Dübelsysteme BAD HVZ HCR sowie HRB TZ HCR im Randbalken werden in Anlehnung an die ÖVBB Richtlinie für „Konstruktive Stahleinbauteile in Beton und Stahlbeton“ [3] geführt. Sämtliche programmierte Nachweise sind in Kapitel 2.4.4 (ab Seite 43) erklärt.

1.2.1 Kompatible Versionen von MS Excel

Das Programm HILTI RANDBALKEN ist eine MS Excel Datei im *.xls-Format gespeichert und zu den MS Excel Versionen 97-2003 sowie 2007/2010 kompatibel. Im gesamten Programm HILTI RANDBALKEN werden keinerlei Makros oder VBA-Code verwendet. Dies gewährleistet eine universelle Einsetzbarkeit und erhöht die Akzeptanz durch die Benutzer, da das Programm keine Probleme mit Anti-Viren-Software verursacht.

Programmbeschreibung

2.1 Programmkonzept

2.1.1 Modularer Aufbau

Die Vorteile des modularen Aufbaus (auch Baukastenprinzip genannt) bei der Entwicklung einer Software liegen auf der Hand. Die hohe Flexibilität gestattet die einfache Änderung einzelner Programmteile (Module), ohne die anderen Bereiche der Software zu beeinflussen. In MS Excel wird diese Modularität unter anderem erreicht, indem sich jedes Modul in einem eigenen Tabellenblatt befindet. Dadurch ist es möglich, einzelne Module bei Bedarf neu zu programmieren, ohne grobe Veränderungen in der gesamten Programmstruktur vornehmen zu müssen. Das im Zuge dieser Arbeit entwickelte Programm HILTI RANDBALKEN enthält Module (also Tabellenblätter) für die Eingabe, die Ausgabe, die Berechnungskerne, in denen die Nachweise geführt werden, sowie diverse Datentabellen (siehe Tabelle 2.1).

Die Eingabeblätter sowie die Datenblätter sind übersichtlich erstellt und entsprechend ihrer jeweiligen Aufgabe unterschiedlich ausgestaltet. Die Berechnungsblätter hingegen besitzen alle einen ähnlichen Aufbau. Abbildung 2.1 zeigt schematisch diesen Aufbau. Im obersten Bereich des Tabellenblattes werden sämtliche im Tabellenblatt benutzten Eingangswerte aus den anderen Blättern übertragen. Die übertragenen Werte erhalten dadurch in diesem Tabellenblatt einen lokalen Namen zugewiesen, der dann in der weiteren Berechnung verwendet wird. Sollte sich die Herkunft des Wertes ändern, so muss dies nur einmal im Datenübertrag nachgeführt werden. Andernfalls müsste jede Formel, in der diese Variable benutzt wird, angepasst werden. Im Programm HILTI RANDBALKEN sind die übertragenen Werte zusätzlich farblich markiert, um die Datenherkunft auf den ersten Blick sichtbar zu machen. Diese Maßnahmen gewährleisten ein Höchstmaß an Verständlichkeit und Flexibilität.

Dem Bereich der Variablenübergabe folgt der Hauptteil, in dem die Programmierung (bzw. Berechnung) untergebracht ist. In Abbildung 2.1 symbolisiert diesen Be-



Abbildung 2.1: Modularer Aufbau eines Berechnungsblattes

reich der mittlere Rahmen. Alle Berechnungsschritte sind nachvollziehbar und textlich erklärt. Jene Tabellenblätter, welche Nachweise nach den entsprechenden Normen enthalten, sind zudem in die einzelnen Normnachweise untergliedert. Eine farbliche Markierung am linken Rand des Tabellenblattes verbessert die Orientierung im Tabellenblatt und hilft dabei, Normalkraft- und Querkraftnachweise leicht zu unterscheiden.

Unterhalb der Berechnungen befindet sich eine Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse. Hier werden sämtliche Daten gelistet, die das Programm an anderer Stelle benötigt. Die Ausgabeblätter beziehen ihre Werte direkt aus den Berechnungsblättern. Somit besitzen die Ausgabeblätter nur Formeln zur Werteübertragung, jedoch keine Berechnungen im Sinne von Nachweisen. Die beiden Ausgabeblätter sowie die beiden Tabellenblätter mit den Ausschreibungstexten sind druckgerecht gestaltet.

2.1.2 Namenskonvention für Variablen

Formeln in MS Excel werden in der Bearbeitungsleiste eingegeben. Eine Formel beginnt immer mit einem Istgleich-Zeichen (=). Die einfachste Formel ist dabei ein direkter Bezug auf eine andere Zelle, beispielsweise die Formel =C13. Diese Zelle wird dabei durch die Koordinaten, im voranstehenden Beispiel C13 angegeben, wobei Buchstaben die Spalte, sowie Zahlen die entsprechende Zeile bezeichnen. Bei komplizierten Programmen ist es notwendig, Variablen zu definieren, um die Übersichtlichkeit des Programms zu erhalten. In MS Excel ist es möglich, einer Zelle einen sogenannten Zellnamen zuzuweisen. Wird der Zelle C13 der Zellname *breite* und der Zelle C15 der Zellname *hoehe* gegeben, so kann in jedem Tabellenblatt des aktiven Dokuments die Formel =*breite***hoehe* eingegeben werden. Durch die Wahl sinnvoller Namen können auch komplizierte Formeln schnell nachvollzogen werden – nicht nur vom Programmierer und auch noch lange Zeit nach der Programmierung.

Eine sehr empfehlenswerte Namenskonvention ist in der von Reinhold Scheck vorgestellten rS1-Methode enthalten [4]. Der Name besteht dabei aus einem Präfix und dem eigentlichen Variablennamen. Präfix und Variablenname sind durch einen Punkt voneinander getrennt. Der Präfix verweist auf das Tabellenblatt, in dem der Name definiert ist. Der Variablenname erlaubt den Rückschluss auf den Inhalt der Variable. Gemäß der von Reinhold Scheck vorgestellten rS1-Methode werden die Tabellenblätter entsprechend ihrer Funktion strukturiert. Die Anpassung der rS1-Methode an das gegenständliche Problem führte zu den in Tabelle 2.1 angeführten Tabellenblättern. Der Präfix beginnt immer mit dem Buchstaben r (r steht für range – der englischen Bezeichnung für Bereich; es werden ja Bereichsnamen definiert, auch wenn diese meist nur aus einer Zelle bestehen). Von den in Tabelle 2.1 angeführten Tabellenblätter werden folgende Namen definiert (in Klammer jeweils die entsprechenden Präfixe): Eingabe (rE), Basis2 (rB2), Kern2 (rK2), Kern3 (rK3), Kern4 (rK4), Dat_Rückh. (rDR), Dat_Dübel (rDD), Dat_Betone (rDB) und Dat_Grafik (rDG).

Name des Tabellenblattes	Funktion
Eingabe	Eingabe aller Werte
Ausgabe_BAD_HVZ_HCR	Ausgabe für System BAD
Ausgabe_HRB_TZ_HCR	Ausgabe für System HRB
Ausschreibungstext BAD_HVZ_HCR	Ausschreibungstext System BAD HVZ HCR
Ausschreibungstext HRB_TZ_HCR	Ausschreibungstext System HRB TZ HCR
Dat_Rückh.	Daten Rückhaltesysteme
Dat_Dübel	Daten Dübelsysteme
Dat_Beton	Daten Beton
Dat_Grafik	Programmgrafiken
Basis2	Lastaufbereitung
Kern2	Rechenkern Annex C
Kern3	Rechenkern TR029
Kern4	Rechenkern RL Stahleinbauteile

Tabelle 2.1: Tabellenblätter im Programm HILTI RANDBALKEN

Als Beispiel dient nochmals der Variablenname `breite`. Wird diese im Tabellenblatt `Eingabe` definiert, dann lautet der vollständige Zellname somit `rE.breite`. Im Programm HILTI RANDBALKEN ist jede Variable nach diesem Schema benannt. Dadurch wird die Verständlichkeit des Programmcodes erheblich verbessert, bei komplexen Formeln überhaupt erst ermöglicht.

2.1.3 Verwendete MS Excel-Funktionen

In diesem Abschnitt werden wichtige, im Programm HILTI RANDBALKEN verwendete Funktionen erklärt, die zum Verständnis der Programmierung notwendig sind. Es handelt sich hierbei um Standardfunktionen von MS Excel, deren kombinierter Einsatz einen Verzicht auf Makroprogrammierung ermöglicht. Für das Programm HILTI RANDBALKEN wurde komplett auf Makroprogrammierung verzichtet, um eine universelle Einsetzbarkeit und Akzeptanz zu gewährleisten.

2.1.3.1 Funktion: wenn()

Syntax: `wenn(Prüfung;Dann_Wert;Sonst_Wert)`

Diese Funktion ermöglicht, abhängig von einer Bedingung zwei verschiedene Entscheidungen zu treffen. Ist die eingegebene Bedingung wahr, so wird die erste Variante ausgeführt; ist sie falsch, wird die zweite Variante ausgeführt. Nimmt der Wert `Prüfung` den Boolewert `true` an, so ist das Formelergebnis `Dann_Wert`. Ist das Prüfungsergebnis `false`, so ist das Formelergebnis `Sonst_Wert`. Diese Funktion kann entweder direkt in eine Zelle programmiert werden oder einer dynamischen Variablen über den Namensmanager (siehe 2.1.3.6) zugewiesen werden. Das hat den Vorteil, dass sich der Inhalt einer Variablen beispielsweise abhängig von Programmeinstellungen anpasst.

2.1.3.2 Funktion index()

Syntax: `index(Matrix;Zeile;[Spalte];[Bereich])`

Der Befehl gibt einen Wert an einer bestimmten Stelle in einer Liste bzw. Matrix zurück. Die Optionen in eckigen Klammern (`Spalte` und `Bereich`) müssen nicht notwendigerweise angegeben werden. `Matrix` ist hierbei die zu durchsuchende Matrix. Diese kann auch aus nur einer Zeile oder Spalte bestehen. Über die Optionen `Zeile` bzw. `Spalte` wird die Koordinate des gewünschten Wertes bestimmt. Das Ergebnis dieses Befehls ist dann der Zelleninhalt der spezifizierten Zelle. Abbildung 2.2 zeigt ein entsprechendes Beispiel. Der zweite Eintrag in der Matrix `Tiere` (C2:C5) ist das Tier „Pferd“.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2			Huhn		Pferd		
3			Pferd				
4			Esel				
5			Gorilla				
6							

Abbildung 2.2: Beispiel `index()`

2.1.3.3 Funktion `vergleich()`

Syntax: `vergleich(Suchkriterium;Suchmatrix;[Vergleichstyp])`

Diese Funktion bestimmt die Position eines Wertes in einer Liste bzw. Matrix. Das `Suchkriterium` ist jener Wert (Zahl oder Zeichenkombination), nach der in dem durch die Option `Suchmatrix` spezifizierten Bereich gesucht wird. Mittels der Option `Vergleichstyp` kann ausgewählt werden, ob bei Zahlenwerten eine exakte Übereinstimmung notwendig ist oder ob die Position des nächst kleineren bzw. nächst größeren Wertes zurückgegeben wird. In Abbildung 2.3 wird innerhalb des Bereiches `Tiere` (`C2:C5`) nach dem Begriff „Esel“ gesucht. Die Ausgabe ist hier die Zahl 3, da sich der Begriff „Esel“ an der dritten Position befindet.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2			Huhn		3		
3			Pferd				
4			Esel				
5			Gorilla				
6							

Abbildung 2.3: Beispiel Vergleich

2.1.3.4 Funktion `bereich.verschieben()`

Syntax: `bereich.verschieben(Bezug;Zeilen;Spalten;[Höhe];[Breite])`

In MS Excel können Namen nicht nur einzelnen Zellen zugewiesen werden, sondern auch ganzen Bereichen. Ein Bereich kann aus mehreren aufeinanderfolgenden Zellen, einer Spalte (oder Zeile) oder mehreren Spalten und Zeilen bestehen. Der Befehl `bereich.verschieben()` erlaubt es anhand vom Benutzer veränderbarer Werte die Grenzen eines Bereiches zu manipulieren. Ausgehend von einer fixen Zelle (`Bezug`) beginnt der Bereich um die Anzahl `Zeilen` und die Anzahl `Spalten` versetzt. Der Bereich umfasst entweder eine Zelle oder hat eine Größe von `[Höhe]` Zeilen und `[Breite]` Spalten. Diese beiden Werte sind optional, durch Kombination mit dem Befehl `wenn()` kann ein Bereichsname dynamisch in seiner Größe verändert werden.

Im Programm HILTI RANDBALKEN umfasst der Bereichsname `rE.Duebel_Anzeige` alle Dübelabmessungen des jeweils ausgewählten Dübel-systems. Dieser Bereichsname wird mit dem Befehl `bereich.verschieben()` so angepasst, dass er stets die richtigen Dübelabmessungen beinhaltet.

2.1.3.5 Formularsteuerelemente

Diese Objekte vereinfachen die Interaktion des Benutzers mit dem Programm; dies sind beispielsweise Dropdownmenüs, Optionsbuttons und Ähnliches. Im Programm HILTI RANDBALKEN werden die wichtigsten Optionen im Eingabeblatt über Dropdownmenüs gesteuert. Die Formularsteuerelemente sind in MS Excel 2003 im Werkzeugkasten „Formularsteuerelemente“ bzw. in MS Excel 2007/2010 in der Registerkarte



Abbildung 2.4: Registerkarte Entwicklertools

„Entwicklertools“ (siehe Abbildung 2.4) enthalten. Die Anzeige wird in den MS Excel Optionen aktiviert.

Danach können beliebige Formularsteuerlemente am Tabellenblatt platziert werden. Über das Kontextmenü (rechte Maustaste auf das Objekt) und den Eintrag „Steurelement formatieren...“ werden die Eigenschaften des Steuerelements konfiguriert. Das Dropdownmenü inklusive Kontextmenü mit ausgewähltem Eintrag „Steurelement formatieren...“ ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

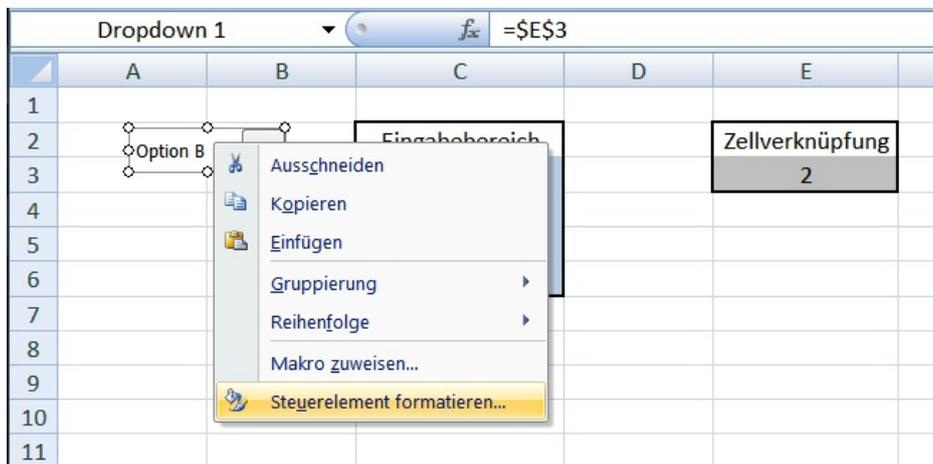


Abbildung 2.5: Kontextmenü eines Dropdownmenüs

Die für die Funktionalität entscheidenden Parameter sind in der Registerkarte „Steuerung“ zusammengefasst. Der Eingabebereich ist dabei jener Bereich, dessen Inhalt im Dropdownmenü zur Auswahl angeboten wird. In dem in Abbildung 2.6 dargestellten Beispiel umfasst der Eingabebereich des Dropdownmenüs die Zellen C2:C6. Im Dropdownmenü ist der zweite Eintrag (Option B) ausgewählt, daher wird im Feld der Zellverknüpfung (E3) die Zahl 2 ausgegeben.

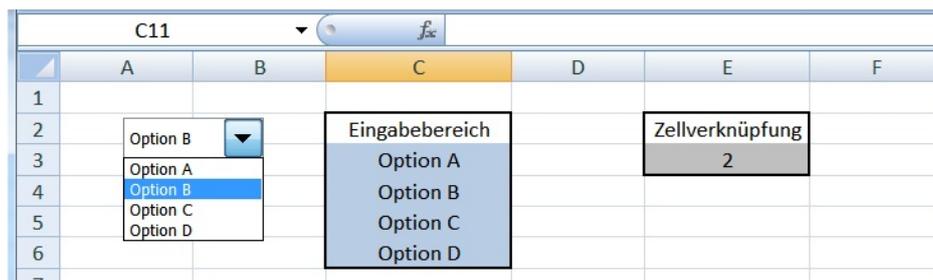


Abbildung 2.6: Beispiel Dropdownmenü

Im gegenständlichen Programm HILTI RANDBALKEN werden Dropdownmenüs beispielsweise zur Auswahl der Dübelabmessungen durch den Benutzer verwendet. Dazu wird im entsprechenden Dropdownmenü als „Eingabebereich“ der Bereichsname `rE.Duebel_Anzeige` verwendet. Nun kann über das Dropdownmenü aus den verfügbaren Dübelabmessungen ausgewählt werden.

2.1.3.6 Der Namensmanager

Im Namensmanager in MS Excel können sämtliche in einer Datei vergebene Namen betrachtet und deren Zellbezüge verändert werden. Mittels des Namensmanagers ist es auch möglich, Namen ohne konkreten Zellbezug zu erstellen. Diese Namen können Werte, Wertetabellen oder auch Funktionen enthalten. In Abbildung 2.7 ist der geöffnete Namensmanager dargestellt. Es ist der Name `rE.bild` ausgewählt. Im unteren Bereich der Abbildung befindet sich die Eingabezeile unterhalb von „Bezieht sich auf:“. Hier erkennt man, dass diesem Namen die Funktion `wenn()` zugeordnet wurde. Der Namen reagiert in diesem Beispiel dynamisch auf den Wert des Namens `rE.Duebeltyp` und beinhaltet entweder den Bereich `rDG.BILD1` oder `rDG.BILD2`. Dies ermöglicht es im Zusammenspiel mit der Excelkamera, dynamische Bildwechsel komplett ohne VBA-Code zu realisieren.

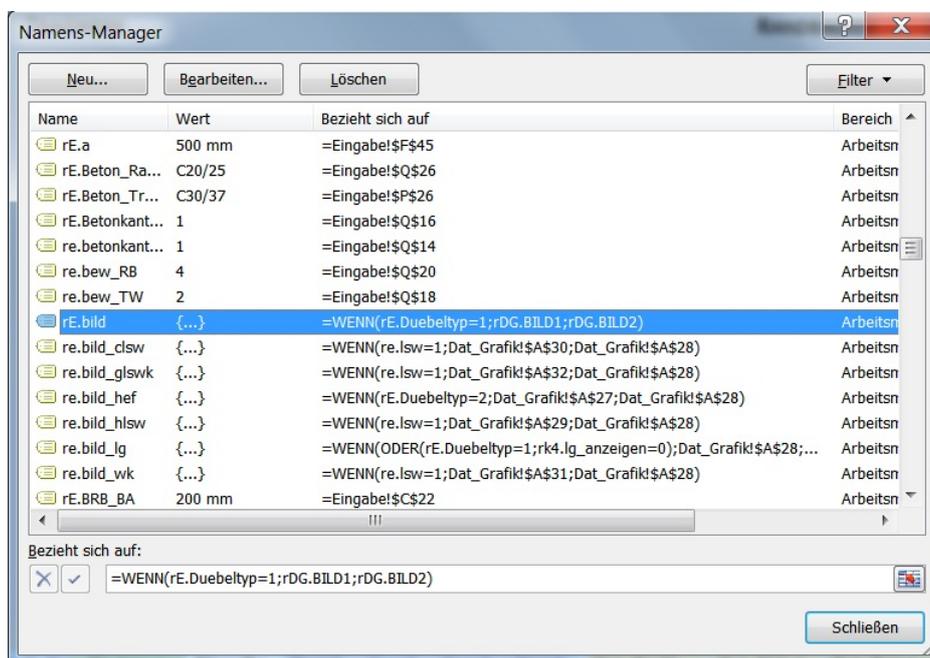


Abbildung 2.7: Namensmanager

2.1.3.7 Bilderwechsel – Excelkamera

Diese sehr praktische Excelfunktion [4] ist im Normalfall nicht direkt auswählbar; der entsprechende Werkzeugkasten ist standardmäßig nicht aktiviert. Der Befehl erzeugt ein grafisches Abbild einer beliebigen Zelle bzw. eines beliebigen Bereiches innerhalb einer Exceldatei. Es ist dabei unerheblich, ob sich im Quellbereich Zahlen, Abbildungen

oder sonstige Objekte befinden. Das Ergebnis der Excelkamera ist immer ein Grafikobjekt. Diesem kann nach der Erstellung ein Bereichsname zugewiesen werden. Das hat zur Folge, dass immer der dem Bereichsnamen zugeordnete Bereich „abfotografiert“ wird. In Kombination mit dynamischen Bereichsnamen kann hiermit ein dynamischer Wechsel der Grafiken erfolgen. Das Programm HILTI RANDBALKEN benutzt diese Funktion, um eine der Auswahl entsprechenden Eingabegrafik darzustellen.

Abbildung 2.8 zeigt ein einfaches Beispiel. Der Bereichsname `Bereich1` erstreckt sich über die Zellen `B2:C4`. Rechts wird mittels Excelkamera auf diesen Bereichsnamen verwiesen und somit ein „Foto“ dieses Bereiches dargestellt. Mittels der Funktion `bereich.verschieben()` kann die Bilderauswahl auch dynamisch gestaltet werden. Die Excelkamera kommt im Programm HILTI RANDBALKEN überall dort zum Einsatz, wo dynamische Grafiken erforderlich sind. Im Tabellenblatt `Eingabe` existiert beispielsweise der dynamische Bereichsname `rE.bild`. Diesem Bereichsnamen wurde über den Namensmanager (siehe Abbildung 2.7) eine `wenn()`-Funktion zugewiesen. Je nach gewähltem Dübeltyp bezieht sich der Bereichsname nun auf den entsprechenden Bereich im Tabellenblatt `Dat_Grafik`. Der Excelkamera ist nun der Bereichsname `rE.bild` zugewiesen. Über diesen Umweg (Excelkamera bezieht sich immer auf den gleichen Namen, dieser kann jedoch seinen Bezug ändern) können dynamische Bildwechsel komplett ohne VBA-Code oder Makros realisiert werden.

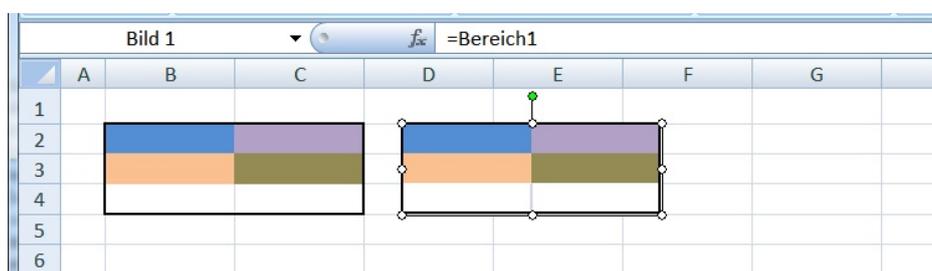


Abbildung 2.8: Beispiel für Excelkamera

2.1.4 Sichtbarkeiten der Tabellenblätter

Die Tabellenblätter sind für drei unterschiedliche Gruppen von Personen vorgesehen. Für den Benutzer sind nur die Eingabe-, Ausgabe- und Ausschreibungstext-Tabellenblätter sichtbar (siehe Tabelle 2.2). Fehleingaben werden entweder direkt verhindert oder durch markante Warnmeldungen angezeigt. Letztere Lockerung ist notwendig, um die Benutzerfreundlichkeit zu gewährleisten. Die Funktion des Programms wird durch Fehleingaben nicht beeinträchtigt. Der Benutzer erhält dann jedoch keine Ergebniswerte. Die Warnmeldungen weisen ihn darauf hin, welche Eingaben zu korrigieren sind.

Mitarbeiter des Hilti-Teams können die Tabellenblätter mit den Datenblättern bearbeiten (ergänzen und warten). Diese enthalten sämtliche Parameterwerte der Dübelsysteme und Baustoffe. In diesen Tabellenblättern ist genau beschrieben, welche Inhalte in welcher Weise verändert werden können und dürfen. Es liegt in der Natur

Name des Tabellenblattes	sichtbar für
Eingabe Ausgabe_BAD_HVZ_HCR Ausgabe_HRB_TZ_HCR Ausschreibungstext BAD_HVZ_HCR Ausschreibungstext HRB_TZ_HCR	Benutzer
Dat_Rückh. Dat_Dübel Dat_Beton Dat_Grafik	Hilti-Team
Basis2 Kern2 Kern3 Kern4	Entwickler

Tabelle 2.2: Sichtbarkeiten der Tabellenblätter

der Sache, dass bei diesen Tabellenblättern keine Eingabekontrolle möglich und daher auch nicht implementiert ist. Eine Falscheingabe (z.B. falsche Würfeldruckfestigkeit) beeinflusst die gesamte Berechnung. Daher sind diese Daten mit großer Sorgfalt zu warten.

Die Berechnungsblätter sind nur für Entwickler bestimmt. Diese Tabellenblätter enthalten die eigentlichen Rechenkerne, in denen sämtliche Nachweise programmiert sind. Zu dieser Kategorie zählt ebenfalls die gesamte Aufbereitung der Lasten sowie die Bemessung nach den entsprechenden Normen. Trotz der sehr übersichtlichen Gestaltung ist eine Manipulation nur durch einen Programmierer vorgesehen. Diese Person muss über sehr gute Fachkenntnisse der Dübelbemessung sowie der MS Excel Programmierung verfügen. Eine Änderung in diesen Tabellenblättern hat die größten Auswirkungen und ist nur mit äußerster Vorsicht vorzunehmen.

2.2 Tabellenblätter für Benutzer

In diesem Abschnitt werden die für den Benutzer (Hilti-Kunden) sichtbaren Tabellenblätter näher erläutert. Dabei handelt es sich um die Tabellenblätter für Eingabe, Ausgaben und Ausschreibungstexte. Die berücksichtigten Dübelssysteme enthalten jeweils eigene Tabellenblätter für die druckfertige Ausgabe. Dies gilt auch für die Ausschreibungstexte (je ein eigenes Tabellenblatt pro Dübelssystem).

2.2.1 Tabellenblatt Eingabe

Das Tabellenblatt **Eingabe** dient als Interface für den Benutzer. Hier werden alle für die Berechnung erforderlichen Einstellungen getroffen. Es ist in drei Bereiche gegliedert. Der oberste Bereich des Tabellenblattes enthält fünf grundlegende Auswahlmöglich-

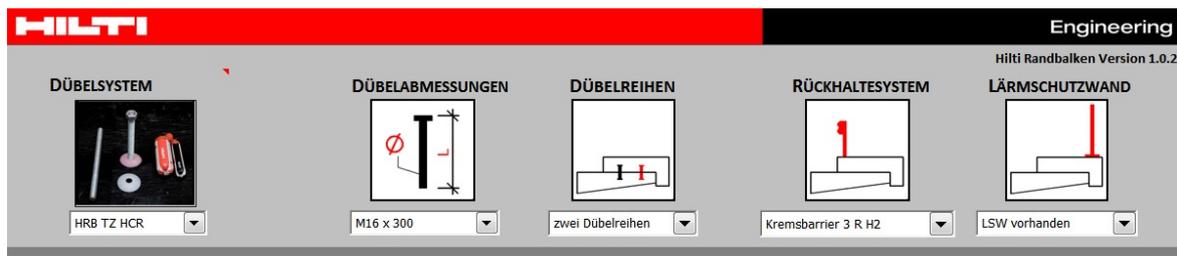


Abbildung 2.9: Eingabe, oberster Bereich

keiten (siehe Abbildung 2.9).

Diese sind von links nach rechts:

- Auswahl des Dübelsystems (BAD HVZ HCR oder HRB TZ HCR)
- Auswahl der verfügbaren Dübelabmessungen (Durchmesser und Länge)
- Auswahl zwischen einer oder zwei Dübelreihen
- Auswahl eines Rückhaltesystems
- Aktivierung der Lärmschutzwandeingabe

Im mittleren Bereich des Tabellenblattes sind sämtliche Eingabefelder neben erklärenden Grafiken untergebracht (siehe Abbildung 2.10). Diese Anordnung ermöglicht auch dem ungeübten Benutzer eine rasche und fehlerfreie Eingabe der gewünschten Geometrie sowie der gewünschten Belastung. Unterhalb dieser Eingabezellen wird mittels Farbe (grün oder rot) und Text angezeigt, ob die gewählte Verankerungssituation zulässig ist.

Bei den Geometriedaten steht der Index T für das Tragwerk und der Index RB für den Randbalken. Nur die weiß hinterlegten Zellen bieten dem Benutzer Eingabemöglichkeiten. Die Eingaben für den Dübelreihenabstand a sowie den Setzabstand der zweiten Dübelreihe s_2 sind nur aktiv, wenn im oberen Bereich zwei Dübelreihen eingestellt wurden. Sinngemäß gilt das Gleiche für die Eingaben zur Lärmschutzwand sowie für das Rückhaltesystem. Während der Eingaben werden in den anderen Tabellenblättern automatisch sämtliche Nachweise geführt. Am Ende des Tabellenblattes **Eingabe** werden die Auslastungsgrade der einzelnen Nachweise sofort dargestellt. Zusätzlich zeigt das Programm die entsprechende N-H Interaktion an und stellt diese grafisch in einem Diagramm für Tragwerk (Abbildung 2.11) und Randbalken (Abbildung 2.12) dar. Der Benutzer hat somit die Möglichkeit, seine Auswahl zu optimieren; Ergebnisse werden sofort angepasst.

TRAGWERK

BETONGÜTE

BEWEHRUNG

GEOMETRIE

$B_{RB,PL}$ $H_{RB,PL}$

$B_{RB,BA}$ $H_{RB,BA}$

H_T d

$H_{T,KR}$

BELASTUNGEN

N_{EK} H

H_{EK} M

M_{EK} e

LÄRMSCHUTZWAND

H_{LSW} w_k

C_{LSW} $\beta_{LSW,k}$

VERDÜBELUNG

C_{RB} a

s_1 H_{ef}

s_2

TEILSICHERHEITSBEIWERTE MATERIALSEITE

Verankerung ist zulässig

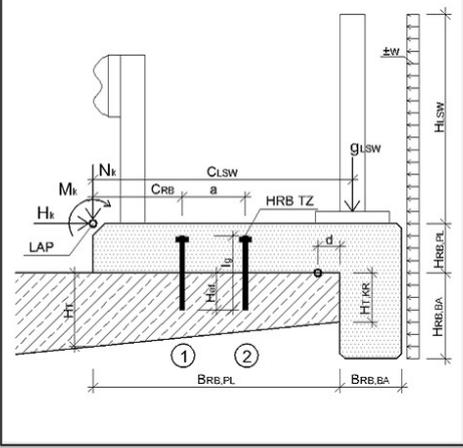
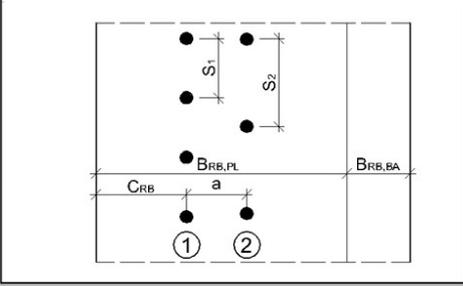
ACHTUNG: Betonkantenbruch im RB nicht berücksichtigt!

zum Ausschreibungstext =>

RANDBALKEN

BETONGÜTE

BEWEHRUNG

weiter zur Ausgabe =>

Abbildung 2.10: Eingabe, mittlerer Bereich

BERECHNUNGSERGEBNISSE - TRAGWERK

NORMALKRAFTAUSNUTZUNG

	Reihe 1	Reihe 2
Lastfall	LF2	LF2
STAHLVERSAGEN:	4 %	3 %
HERAUSZIEHEN:	24 %	14 %
BETONAUSSBRUCH:	24 %	9 %
SPALTEN:	8 %	6 %
β_N	24 %	14 %

QUERKRAFTAUSNUTZUNG

	Reihe 1	Reihe 2
Lastfall	LF2	LF2
STAHLVERSAGEN:	9 %	12 %
PRYOUT	8 %	8 %
BETONKANTENBRUCH	47 %	22 %
β_H	47 %	22 %

N - H INTERAKTION

	Reihe 1	Reihe 2
Lastfall	LF2	LF2
α	1,50	1,50
$\beta_N^{\alpha} + \beta_H^{\alpha} < 1,0$	44 %	15 %

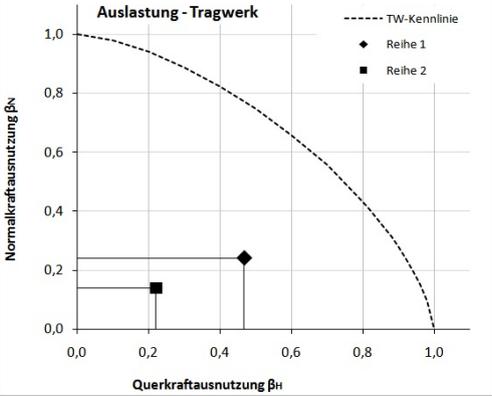


Abbildung 2.11: Eingabe, unterer Bereich – Bemessungsergebnisse Tragwerk

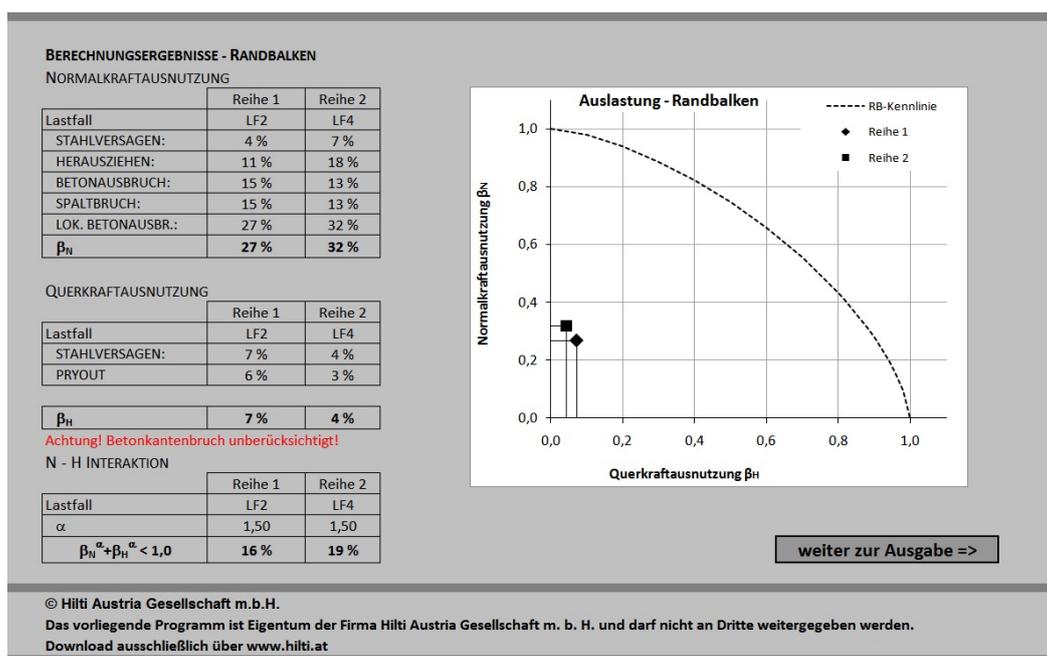


Abbildung 2.12: Eingabe, unterer Bereich – Bemessungsergebnisse Randbalken

2.2.2 Tabellenblatt – Ausgabe BAD HVZ HCR

Dieses Tabellenblatt beinhaltet die druckfertige Ausgabe des Programms für das Dübelsystem BAD HVZ HCR. Es werden alle Berechnungsschritte dargestellt, um die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen zu garantieren. Der Aufbau orientiert sich dabei an einer manuellen Berechnung.

Abbildung 2.13 zeigt den Kopf des Tabellenblattes Ausgabe. Hier können vom Benutzer projektspezifische Daten eingegeben werden, um später eine Zuordnung zum entsprechenden Projekt zu ermöglichen.

Planer		Telefon	
Bearbeiter		Mobil	
Projektbez.		Fax	
Projekt Nr.		Email	
Lastfall		Datum	04.1.2011

Abbildung 2.13: Kopfzeile Ausgabeblatt

Darunter befinden sich sämtliche für die Berechnung notwendige Eingabewerte aufgelistet (siehe Abbildung 2.14). Zur besseren Verständlichkeit sind (wie im Eingabetabellenblatt) die Grafiken ebenfalls dynamisch programmiert. Je nach gewählter Verankerung und nach gewählten Randbedingungen (z.B. Lärmschutz oder Rückhaltesystem) wird die entsprechende Grafik dargestellt. Entsprechend der gewählten Bemessungssituation erfolgt die Darstellung der Eingabewerte. Nicht benötigte Werte werden mittels bedingter Formatierung ausgeblendet. Zusätzlich zeigt das Programm rechts unten, ob die gewählten Optionen zu einer zulässigen Verankerung führen. Ein zusätzlicher Hinweis erfolgt, wenn der Benutzer den Nachweis gegen Betonkantenbruch

im Randbalken oder im Tragwerk deaktiviert hat. Dieser Aufbau ermöglicht dem Benutzer auf dem ersten Blatt des Ausdrucks zu erkennen, ob der Nachweis erfolgreich geführt werden konnte. Der rasche Überblick über alle Eingabewerte sowie die Zulässigkeit der Verankerung schränkt (wie gewünscht) die Möglichkeit einer nachträglichen Manipulation stark ein.

Die zweite Druckseite bietet eine Zusammenfassung der maßgebenden Lastfälle, der Belastungen und der einzelnen Dübelnachweise (siehe Abbildung 2.15). Die Dübelnachweise sind zuerst in Tragwerk- und Randbalkenseite und danach in Vertikal- und Horizontalbeanspruchung gegliedert. Es wird für jeden Nachweis der entsprechende Auslastungsgrad dargestellt. Darunter befindet sich die Interaktionsberechnung für Horizontal- und Vertikalkraft. Abschließend geben die Auslastungsdiagramme für Tragwerk- und Randbalkenseite einen grafischen Überblick über die Auslastungssituation. Dieser Aufbau ermöglicht dem Benutzer im Bedarfsfall rasch den maßgebenden Einzelnachweis zu erfassen.

Ab der dritten Druckseite werden sämtliche Berechnungsschritte im Detail angeführt. Dies beginnt mit der Lastaufstellung und der Zusammensetzung der einzelnen Lastfälle. Seite 4 des Ausdruckes listet die Transformation der Lasten in Dübellasten. Die Zeichnungen sind ebenfalls dynamisch integriert und passen sich der jeweiligen Bemessungssituation (einreihig, zweireihig) an. Danach wird angegeben, welcher Lastfall für welche Dübelreihe maßgebend ist. Ab Seite 5 folgt die Ausgabe der Detailnachweise. Diese werden nur für den jeweils maßgebenden Lastfall dargestellt. Zuerst sind die Nachweise im Tragwerk angeführt, danach die Nachweise im Randbalken. Bei jedem Berechnungswert ist vermerkt, nach welchem Regelwerk und welcher Formel des Regelwerks der entsprechende Wert berechnet wird. Dies erlaubt dem Benutzer, in kürzestmöglicher Zeit die gesamte Berechnung bis ins Detail nachzuvollziehen. Der vollständige Ausdruck umfasst 9 Seiten (siehe Anhang A). Am letzten Blatt befindet sich ein Disclaimer mit rechtlichen Hinweisen.

2.2.3 Tabellenblatt – Ausschreibungsbeispiel BAD HVZ HCR

Dieses Tabellenblatt enthält ein Beispiel für einen Ausschreibungstext für das Dübel-system BAD HVZ HCR. Die in der Berechnung ermittelten Dübelabmessungen werden automatisch in diese Vorlage übertragen. Das Tabellenblatt ist gesperrt, kann jedoch vom Benutzer markiert und kopiert werden. Dadurch ist es möglich, den Ausschreibungstext in ein Textverarbeitungsprogramm zu übertragen.

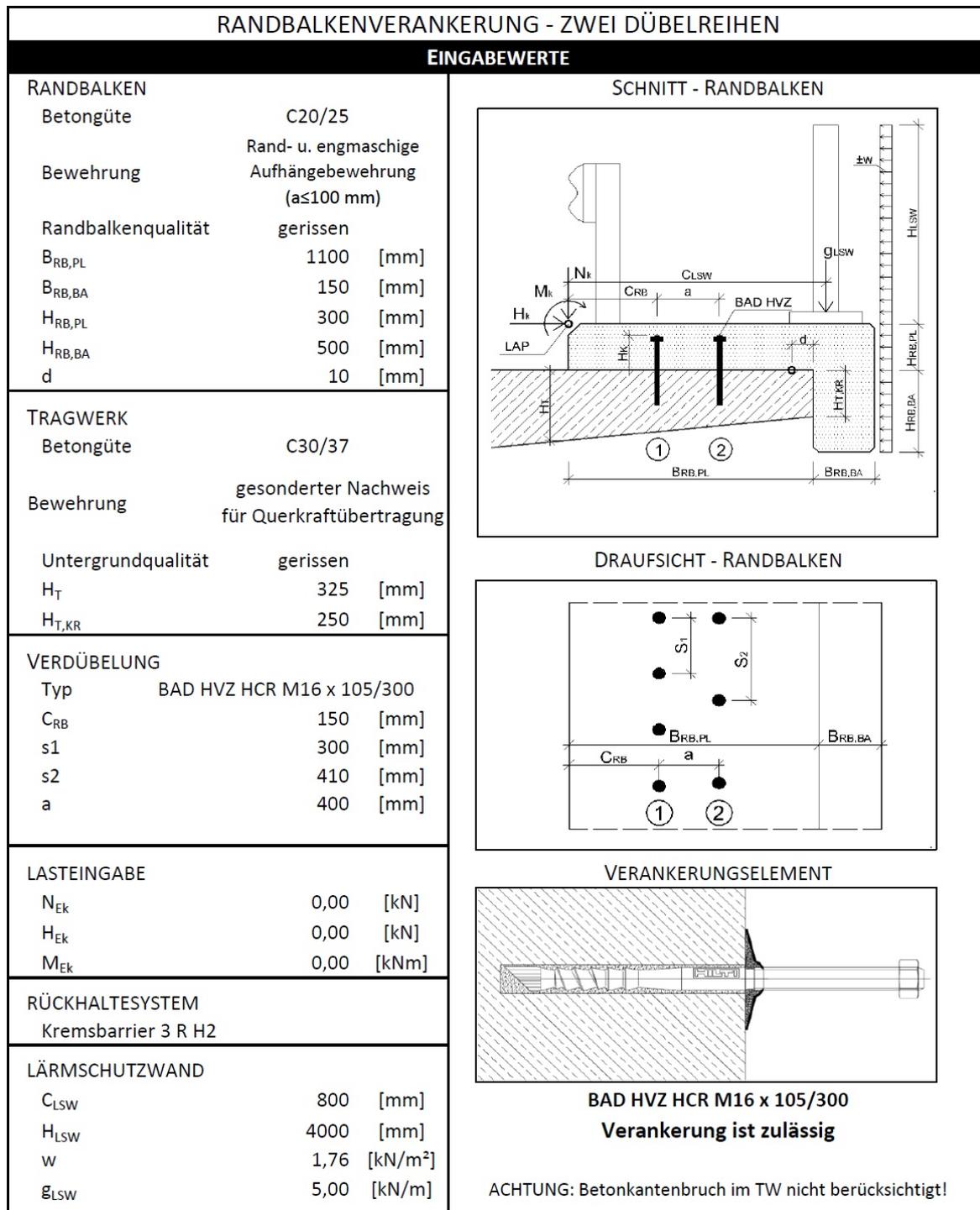


Abbildung 2.14: Ausgabe Dübelssystem BAD HVZ HCR, erste Seite ohne Kopfbereich

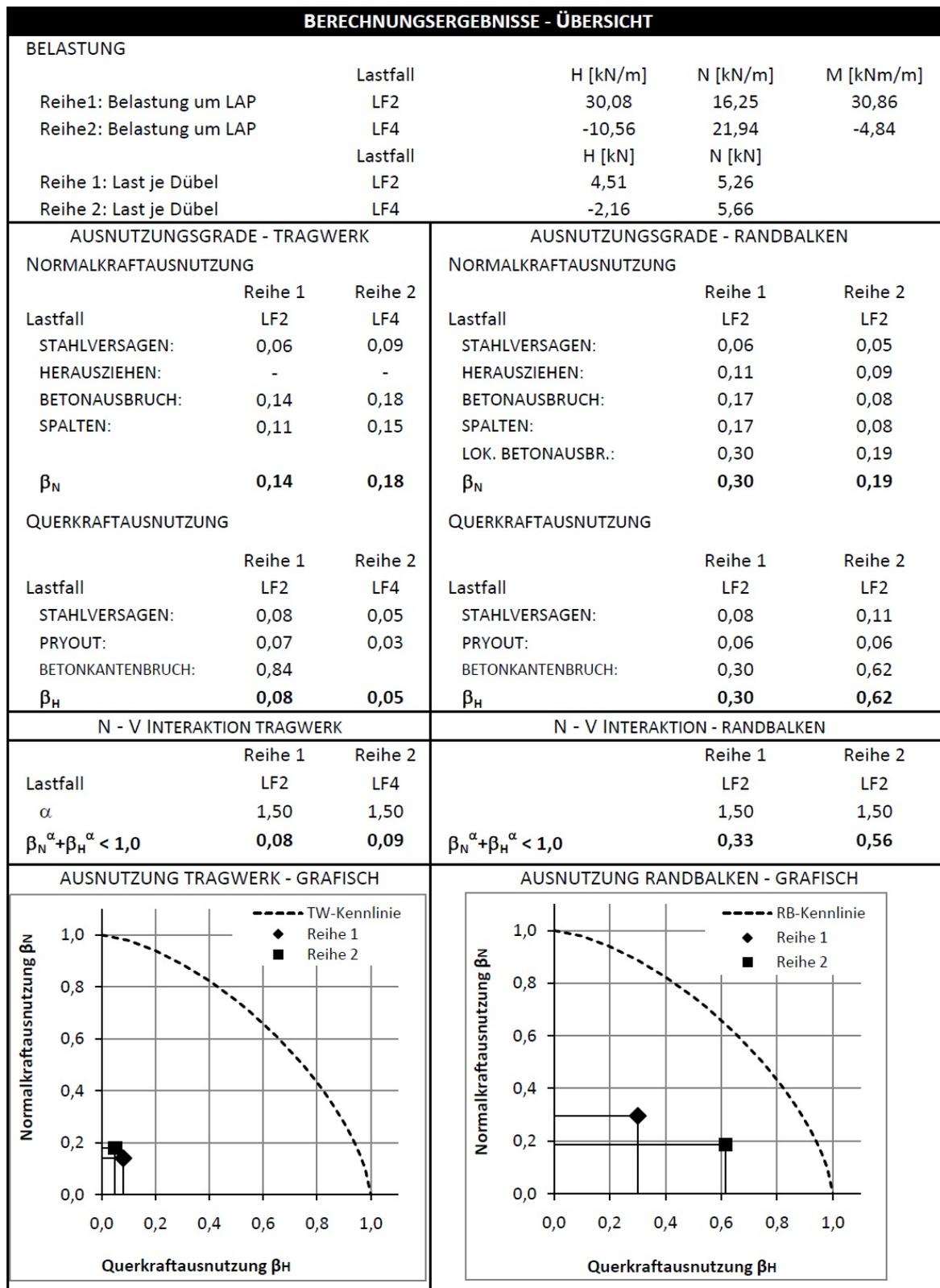


Abbildung 2.15: Ausgabe Dübelssystem BAD HVZ HCR, zweite Seite

2.2.4 Tabellenblatt – Ausgabe HRB TZ HCR

Dieses Tabellenblatt enthält die druckfertige Ausgabe des Programms für das Dübelsystem HRB TZ HCR. Der Aufbau ist nahezu ident mit dem in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Ausgabeblatt für das Dübelsystem BAD HVZ HCR. Daher wird nicht weiter auf dieses Tabellenblatt eingegangen.

2.2.5 Tabellenblatt – Ausschreibungsbeispiel HRB TZ HCR

Dieses Tabellenblatt enthält ein Beispiel für einen Ausschreibungstext für das Dübelsystem HRB TZ HCR. Die in der Berechnung ermittelten Dübelabmessungen werden automatisch in diese Vorlage übertragen. Das Tabellenblatt ist gesperrt, kann jedoch vom Benutzer markiert und kopiert werden. Dadurch ist es möglich, den Ausschreibungstext in ein Textverarbeitungsprogramm zu übertragen.

2.2.6 Tabellenblatt – Disclaimer

Beim erstmaligen Öffnen des Programms (meist nach dem Herunterladen), gelangt der Benutzer auf dieses Tabellenblatt. Es enthält rechtliche Hinweise und einen Haftungsausschluss der Firma Hilti. Die Verwendung eines unterstützenden Programms entbindet den eigenverantwortlichen Planer nicht von der Kontrolle der Ergebnisse.

Darunter sind die Kontaktdaten der Firma Hilti angegeben. Nach Betätigung der Schaltfläche **weiter zur Eingabe =>** gelangt der Benutzer zur Eingabemaske. Das Tabellenblatt ist gesperrt und kann vom Benutzer weder kopiert noch verändert werden.

2.3 Tabellenblätter – Datentabellen

In diesen Tabellenblättern sind sämtliche notwendigen Werkstoffkennwerte gespeichert. Die Daten werden aus diesen Tabellenblättern in die jeweiligen Berechnungsblätter übernommen. Diese Tabellenblätter sind für das Hilti-Team zu Wartungszwecken freigeschalten. Soll zu einem späteren Zeitpunkt eine Änderung erfolgen (z.B. ein neues Rückhaltesystem eingefügt werden), so muss dies im entsprechenden Datenblatt passieren. Die Tabellenblätter enthalten eine Schritt-für-Schritt-Anleitung wie im Falle einer Änderung vorzugehen ist. Alle Datentabellenblätter sind für den Endnutzer unsichtbar.

2.3.1 Tabellenblatt – Dat_Rückh.

In diesem Tabellenblatt sind sämtliche Kennwerte der in Österreich zugelassenen Rückhaltesysteme gespeichert (siehe Abbildung 2.16). Die Tabelle enthält neben den 22 aktuell zugelassenen Rückhaltesystemen auch zwei weitere Zeilen für den Fall, dass kein Rückhaltesystem ausgewählt wird bzw. vom Benutzer händisch Rückhaltesystemlasten eingegeben werden. Die erste Zeile (- kein Rückhaltesystem -) enthält nur Nullen als

Werte. Die zweite Zeile (- händische Lasteingabe -) übernimmt die im Eingabeblatt vom Benutzer eingetragenen Werte. Die Zellen dieser Zeile enthalten daher jeweils eine Formel, welche die Lastwerte vom Tabellenblatt **Eingabe** übernimmt. Über der Datentabelle befindet sich eine Kurzanleitung mit den wichtigsten Hinweisen für das Hinzufügen weiterer Rückhaltesysteme. Das Programm benutzt dynamische Bereichsnamen und ist daher auf eine wechselnde Anzahl von Rückhaltesystemen vorbereitet. Für jede Spalte ist ein Bereichsnamen vorhanden. Alle Namen in diesem Tabellenblatt beginnen mit dem Präfix **rDR**. Die Bereiche passen ihre Größe automatisch an und werden im Namensmanager direkt mittels der Funktion **bereich.verschieben()** erzeugt. Die Länge dieses Bereichs entspricht in Zeilen der Zahl im gelb markierten Feld (siehe Abbildung 2.16, Zelle **H7**). Nach Auswahl eines Rückhaltesystems im Eingabeblatt wird in der Berechnung über die Funktionskombination **index()** und **vergleich()** der Wert in der entsprechenden Zeile ausgelesen. Dies geschieht für die Lasten des Rückhaltesystems im Tabellenblatt **Basis2** (siehe Kapitel 2.4.1). Zur eindeutigen Identifizierung müssen alle Rückhaltesysteme unterschiedliche Namen haben. Das Programm kann sonst keine eindeutige Zuordnung der Werte sicherstellen. Ebenfalls problematisch sind Leerzeilen in der Auflistung. Diese müssen unbedingt vermieden werden.

2.3.2 Tabellenblatt – Dat_Dübel

Dieses Tabellenblatt enthält sämtliche für die Nachweise erforderlichen Dübelkennwerte (siehe Abbildung 2.17). Es kommen ebenfalls dynamische Bereichsnamen zum Einsatz. Alle Namen in diesem Tabellenblatt beginnen mit dem Präfix **rDD**. Als Beispiel ist hier der Bereichsname spezielle **rDD.duebel** angeführt. Je nach Auswahl des Dübel systems im Tabellenblatt **Eingabe** bezieht sich dieser Bereich auf die Abmessungen der Dübel des Systems **BAD HVZ HCR** oder **HRB TZ HCR**. Der Bereichsname **rDD.duebel** ist keinem Bereich direkt zugewiesen und scheint daher nur im Namensmanager auf. Er setzt sich aus einer Kombination der Funktionen **wenn()** und **bereich.verschieben()** zusammen. Durch die Funktion **wenn()** wird das gewünschte Dübel system abgefragt. Über die Funktion **bereich.verschieben()** und der im jeweils gelben Feld hinterlegten Zahl (siehe Abbildung 2.17, Zelle **G7** oder **G25**) wird die Länge des Bereichs bestimmt.

Im Tabellenblatt **Eingabe** kann im entsprechenden Dropdownmenü (Auswahl der Dübelabmessungen) einfach der Bereichsname **rDD.duebeltyp** angegeben werden. Je nach gewähltem Dübeltyp werden durch die zuvor erläuterten Funktionen die Auswahlmöglichkeiten im Dropdownmenü automatisch angepasst.

Entsprechende Hinweise zeigen wie die Daten zu ergänzen sind. Zuerst ist die entsprechende Zeilennummer in Spalte **B** zu erweitern. Danach sind Dübelname und Dübelparameter einzutragen. Als letzter Schritt muss die Zahl in der gelb markierten Zelle (**G7** oder **G25**) auf die gewünschte Zeilenanzahl angepasst werden. Diese Zahl bestimmt, wieviele Zeilen im Dropdownmenü zur Auswahl bereitgestellt werden. Dieses Tabellenblatt beinhaltet keine Gültigkeitskontrollen. Daher ist bei der Manipulation erhöhte Vorsicht geboten. Es gelten die gleichen Einschränkungen wie im Datenblatt **Dat_Rückh**. (siehe Kapitel 2.3.1).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																
2			Anleitung zum Hinzufügen von Rückhaltesystemen													
3		Schritt 1:	Hinzufügen der entsprechenden Zeilennummer													
4		Schritt 2:	Eintragen der Rückhaltesystembezeichnung und der Kennwerte													
5		Schritt 3:	Anzahl der aktiven Zeilen im gelben Feld eintragen													
6																
7			Anzahl der Zeilen "Dübel mit fester Ankerlänge", die verwendet werden sollen: 24													
8																
9		Hersteller	Rückhaltesystem	Aufhaltstufe	Mindestaufstelllänge	min. Berf Randbalken	H [kN]	M [kNm]	Abstand e [m]	Anzahl n	h [kn/m]	v [kN/m]	h [kn/m]	v [kNm/m]		
10																
11			-				0	0	0	0	0	0	0	0		
12			- kein Rückhaltesystem - - händische Eingabe -				10	9	2							
13		13	2	N2	45,60	1,25	13	5	1,9	3	10	6	12			
14		3	VAKF	Kremsbarrier 1 RN2			40	25	1,9	2	40	40	25			
15		4	VAKF	Kremsbarrier 1RH1	57,00	0,50	30	15	1,9	3	40	50	20			
16		5		Leitschutz H1	57,00	1,00	30	15	1,9	3	40	50	20			
17		6	VAKF	Kremsbarrier 1 RH2	57,00	0,50	40	25	1,27	3	50	50	30			
18		7	VAKF	Kremsbarrier 2 RH2	57,00	0,50	40	25	1,27	3	50	50	30			
19		8	MABA	Delta Bloc 80-BR30/4M	40,09	0,90	270	105	1,61	2	110	100	70			
20		9	MABA	Delta Bloc 80AS-BR/4M	39,69	0,75	260	80	1,61	2	100	95	60			
21		10	MABA	Delta Bloc 80-BR/4M	39,69	0,90	205	90	1,61	2	75	100	75			
22		11	Rider MABA	Delta Bloc 80-SK/4M	40,35	0,75	170	50	1,28	3	120	110	70			
23		12	Markus Kaiser	Kaiser Bridge Rail	72,00	0,50	55	30	1,50	5	100	90	55			
24		13	MABA	Delta Bloc 80AS-R/6M	78,12	0,90	75	0	1,00	4	70	70	75			
25		14	VAKF	Kremsbarrier 3 R H2	56,00	0,50	40	25	1,33	3	50	50	30			
26		15	M.D.S.	Stahlleitwand MDS H2	72,00	1,25	150	80	3,00	2	60	60	65			
27		16	Fracasso	Fraccaso Barriera 3n	76,50	0,50	130	70	2,25	3	70	140	30			
28		17	IMEVA	Barriera bordo laterale H2	72,00	0,60	150	35	1,33	3	90	50	90			
29		18	VAKF	Kremsbarrier 1 R H3	49,40	0,70	130	60	1,27	3	90	65	60			
30		19	IMA29	Wiener Stahlleitwand	57,00	0,70	200	100	1,90	2	90	80	70			
31		20	MABA	Delta Bloc 100AS-R/6M	90,49	1,25	75	0	1,00	4	70	100	100			
32		21	Sistema	SISTEMA	60,00	0,60	195	80	1,50	2	90	110	60			
33		22	Markus Kaiser	Kaiser Bridge Rail	75,00	1,25	130	25	1,50	3	90	80	50			
34		23	VAKF	Kremsbarrier 3 R H4	72,00	0,70	130	70	1,33	3	80	130	145			
35		24	M.D.S.	Stahlleitwand MDS H4	66,00	0,70	150	90	3,00	2	60	120	100			
36																
37																

Abbildung 2.16: Datenblatt Rückhaltesysteme

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																
2																
3	Schritt 1:	Anleitung zum Hinzufügen von Dübeltypen														
4	Schritt 2:	Hinzufügen der entsprechenden Zeilennummer														
5	Schritt 3:	Eintragen der Dübelbezeichnung und der Kennwerte														
6		Anzahl der aktiven Zeilen im gelben Feld eintragen														
7		Anzahl der Zeilen "Dübel mit fester Ankerlänge", die verwendet werden sollen: 6														
8																
9																
10		Dübel mit fester Ankerlänge														
11		Dübelbezeichnung	Dübelabmessungen	Durchmesser [mm]	Länge [mm]	h_{ef} [mm]	A_{Anker} [mm ²]	h_{min} [mm]	delta für $h_{f, RB}$ [mm]	gerissener Beton s_{min} [mm]	gerissener Beton c_{min} [mm]	ungerissener Beton s_{min} [mm]	ungerissener Beton c_{min} [mm]	d	zentrischer Zug Stahlversagen $N_{Rk, s, A}$ [kN]	γ_{Ms} Grundko
12		rDD, Knoten, HVZ														
13	1	BAD HVZ HCR	M16 x 105/300	16	300	105	297,7	210	30	70	70	70	85	18	90	1,50
14	2	BAD HVZ HCR	M16 x 125/300	16	300	125	297,7	250	30	70	70	70	85	18	90	1,50
15	3	BAD HVZ HCR	M16 x 105/350	16	350	105	297,7	210	30	70	70	70	85	18	90	1,50
16	4	BAD HVZ HCR	M16 x 125/350	16	350	125	297,7	250	30	70	70	70	85	18	90	1,50
17	5	BAD HVZ HCR	M20 x 350	20	350	170	465,3	340	35	80	80	80	80	25	182	1,50
18	6	BAD HVZ HCR	M20 x 400	20	400	170	465,3	340	35	80	80	80	80	25	182	1,50
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25		Anzahl der Zeilen "Dübel mit variabler Ankerlänge", die verwendet werden sollen: 13														
26																
27																
28		Dübel mit variabler Ankerlänge														
29		Dübelbezeichnung	Dübelabmessungen	lg beliebig	ϕ d [mm]	d	A_{Anker} [mm ²]	$h_{ef, min}$ [mm]	Länge l_g [mm]	$h_{ef, max}$ [mm]	h_{min} [mm]	delta für $h_{f, RB}$ [mm]	gerissener Beton s_{min} [mm]	gerissener Beton c_{min} [mm]	zentrischer Zug Stahlversagen $N_{Rk, s, HTV, HCR}$ [kN]	γ_{Ms} Grundko
30		rDD, Knoten, TZ														
31	1	HRB TZ HCR	M12 x 250	0	12	14	199,5	48	250	240	178	12	60	60	67	1,50
32	2	HRB TZ HCR	M12 x 300	0	12	14	199,5	48	300	240	178	12	60	60	67	1,50
33	3	HRB TZ HCR	M12 x 330	0	12	14	199,5	48	330	240	178	12	60	60	67	1,50
34	4	HRB TZ HCR	M12 x beliebig	1	12	14	199,5	48	0	240	178	12	60	60	67	1,50
35	5	HRB TZ HCR	M16 x 250	0	16	18	297,7	64	250	320	186	20	80	80	126	1,5
36	6	HRB TZ HCR	M16 x 300	0	16	18	297,7	64	300	320	186	20	80	80	126	1,5
37	7	HRB TZ HCR	M16 x 330	0	16	18	297,7	64	330	320	186	20	80	80	126	1,5
38	8	HRB TZ HCR	M16 x 370	0	16	18	297,7	64	370	320	186	20	80	80	126	1,5
39	9	HRB TZ HCR	M16 x beliebig	1	16	18	297,7	64	0	320	186	20	80	80	126	1,5
40	10	HRB TZ HCR	M20 x 300	0	20	24	465,3	80	300	400	198	23	100	100	196	1,5
41	11	HRB TZ HCR	M20 x 330	0	20	24	465,3	80	330	400	198	23	100	100	196	1,5
42	12	HRB TZ HCR	M20 x 370	0	20	24	465,3	80	370	400	198	23	100	100	196	1,5
43	13	HRB TZ HCR	M20 x beliebig	1	20	24	465,3	80	0	400	198	23	100	100	196	1,5
44																

Abbildung 2.17: Datenblatt Dübelssysteme

2.3.3 Tabellenblatt – Dat_Betone

Dieses Datenblatt enthält die im Programm auswählbaren Betonsorten und deren Materialparameter (siehe Abbildung 2.18). Auch für dieses Datenblatt werden dynamische Bereichsnamen verwendet. Alle Namen in diesem Tabellenblatt beginnen mit dem Präfix rDB. Der Aufbau ist ähnlich dem Datenblatt für die Rückhaltesysteme Dat_Rückh.. Um eine Betonsorte hinzuzufügen, ist zuerst die laufende Nummer in Spalte B zu ergänzen. Anschließend muss die neue Betonsorte samt aller Kennzahlen eingefügt werden; zuletzt ist die Zahl im gelb markierten Feld (Zelle K2) an die neue Zeilenanzahl anzupassen. Wie bei den anderen Datenblättern werden die Eingabewerte nicht kontrolliert. Es gelten die gleichen Einschränkungen wie im Datenblatt Dat_Rückh. (siehe Kapitel 2.3.1).

Zeilennummer	Betonbezeichnung gemäß EN206:2000-12	$f_{ck, cube}$ [N/mm ²]	f_{ck} [N/mm ²]	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctm} [N/mm ²]	f_{ctk} [N/mm ²]	τ_d	E_c [N/mm ²]	f_{bd}	
1										
2	1	C20/25	25	18,8	12,5	2,2	1,5	0,24	29000	2,3
3	2	C25/30	30	22,5	15	2,6	1,8	0,26	30500	2,7
4	3	C30/37	37	27,8	18,5	2,9	2	0,27	32000	3
5	4	C35/45	45	33,8	22,5	3,3	2,3	0,3	33400	3,4
6	5	C40/50	50	37,5	25	3,5	2,5	0,31	35000	3,7
7	6	C45/55	55	41,3	27,5	3,8	2,7	0,32	36000	4
8	7	C50/60	60	45	30	4,1	2,9	0,33	37000	4,3

Abbildung 2.18: Datenblatt Betonsorten

2.3.4 Tabellenblatt – Dat_Grafik

In diesem Datenblatt sind sämtliche Grafikobjekte untergebracht, die im Program dynamisch verwendet werden (statische Grafiken sind dagegen an der jeweiligen Stelle eingebettet). Es sind zwei Spalten mit Grafikobjekten vorhanden. Rechts neben diesen befinden sich jeweils die Zellnamen der Grafikobjekte. Alle Namen in diesem Tabellenblatt beginnen mit dem Präfix rDG. Jedes Grafikobjekt ist dabei auf eine Breite von 10 cm skaliert. Dies ist etwas kleiner, als die jeweilige Spaltenbreite. Die Zellenhöhe hängt von der jeweiligen Grafik ab. Die Funktionsweise des dynamischen Bildwechsels ist in Abschnitt 2.1.3.7 erklärt.

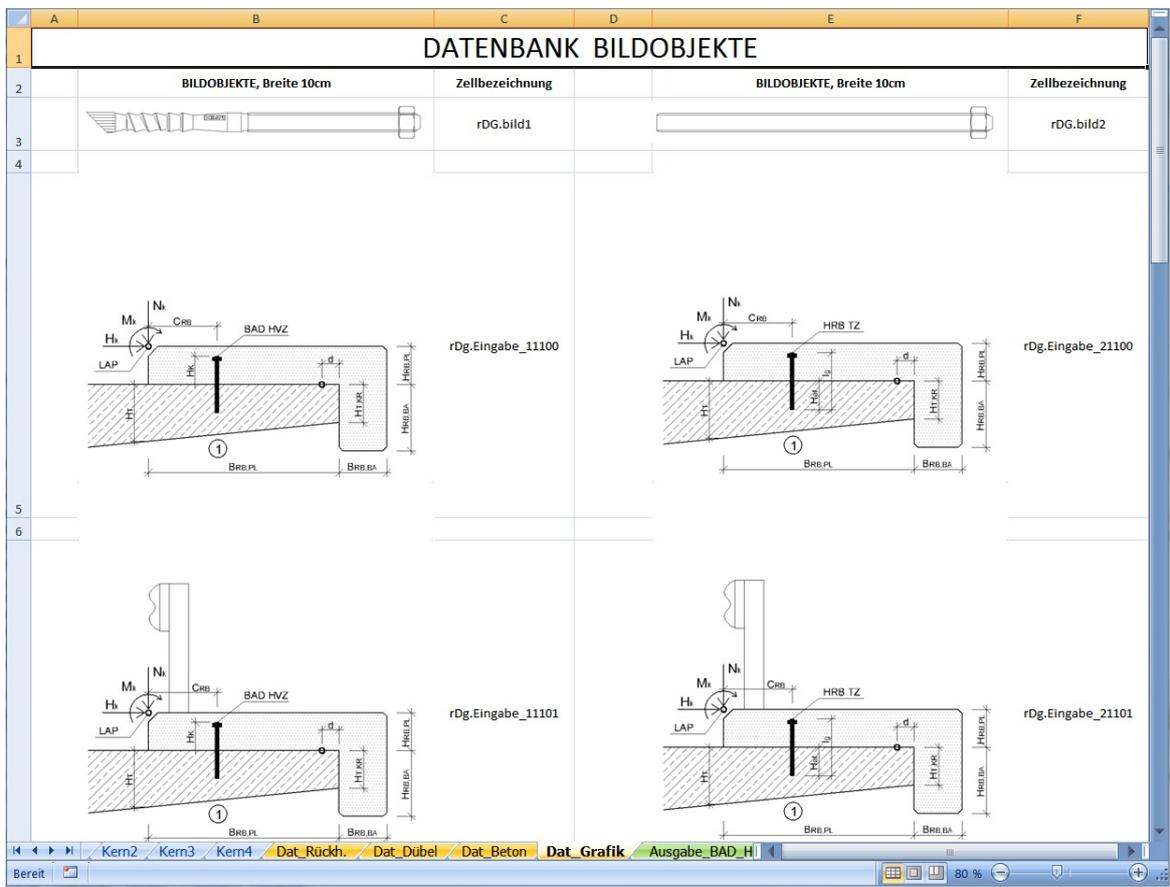


Abbildung 2.19: Datenblatt dynamische Bildgrafiken

2.4 Tabellenblätter – Berechnungskern

2.4.1 Lasterzeugung – Präprozessor

Die eingegebenen Lasten müssen für die Bemessung der Dübel aufbereitet werden. Die Eingabewerte beziehen sich stets auf einen Lastangriffspunkt (später LAP genannt) und sind je Meter Brückenlänge angegeben. Für die Bemessung der Dübel ist es jedoch notwendig, sämtliche einwirkende Kräfte auf Dübellasten zu transformieren. Diese Umrechnung erfolgt als letzter Schritt am Ende dieses Tabellenblattes.

2.4.1.1 Lastaufstellung

Der oberste Bereich des Tabellenblatts beinhaltet den Übertrag sämtlicher für die Berechnung benötigter Werte aus den anderen Tabellenblättern (siehe Abbildung 2.20). Dabei wird den übertragenen Variablen das tabellenblattspezifische Präfix **rB2** vorangestellt. Der eigentliche Variablenname bleibt dabei unverändert. Dieser Schritt ist erforderlich, um programmintern unterscheiden zu können, wo eine Variable erzeugt bzw. benutzt wird. Sämtliche im Tabellenblatt benötigte Werte werden aus diesem Übertrag entnommen. Die Herkunft der Werte ist farblich markiert (siehe Abbildung 2.20). Werte in violetten Feldern stammen aus dem Tabellenblatt **Eingabe**, die Daten in gelben Feldern aus dem Tabellenblatt **Dat_Rückh..**

Präprozessor - Lastaufbereitung					
Dübel - einreihig und Dübel - zweireihig					
Übertrag der Eingabewerte, aus Route					
GEOMETRIE					
Tragwerk			Dübel		
H _T	0,31 m	d	0,01 m	Abstand des Drehpunktes	
Randbalken		C _{RB}	0,15 m		
B _{RB,PL}	1,10 m	C _T	0,95 m		
B _{RB,BA}	0,15 m	s _I	0,30 m	Dübellängsabstand, erste bzw. einzige Dübelreihe	
H _{RB,PL}	0,30 m	s _{II}	0,41 m	Dübellängsabstand, zweite Dübelreihe	
H _{RB,BA}	0,50 m	a	0,40 m	Dübelreihenabstand	
BELASTUNG					
händische Eingabe		Lasten aus Lärmschutzwand		Lasten aus Leitsystem	
H _{Ed}	0,0 kN/m	H _{LSW}	4,00 m	System	Kremsbarrier 3 R H2
V _{Ed}	0,0 kN/m	C _{LSW}	0,80 m	H_leit	40,0 kN
M _{Ed}	0,0 kNm/m	w	1,76 kN/m ²	M_leit	25,0 kNm
		ß _{LSW}	5,0 kN/m	e_leit	1,33 m

Abbildung 2.20: Tabellenblatt Basis2, oberster Bereich

Direkt darunter wird das Eigengewicht des Randbalkens errechnet und in Horizontal- sowie Vertikalkräfte und Moment zerlegt angegeben (siehe Abbildung 2.21). Der verwendete Bezugspunkt ist der Lastangriffspunkt (LAP). Die Zerlegung und die Lage von LAP sind in Abbildung 2.22 dargestellt.

Die Lasten aus einem etwaigen Rückhaltesystem werden in den nächsten Zeilen angegeben. Das Programm sucht automatisch aus dem Tabellenblatt **Dat_Rückh..** die

Lastaufstellung für den Randbalken					
Gewicht RB Platte		G_{RB1}	7,50	[kN/m]	
Gewicht RB Balken		G_{RB2}	2,00	[kN/m]	
Schwerpunktsabstand RB-Platte von Drehpunkt		a_{RB1}	0,60	[m]	
Schwerpunktsabstand RB-Balken von Drehpunkt		a_{RB2}	1,10	[m]	
Mek aus Eigengewicht		$M_{EK, EG}$	6,70	[kNm/m]	
Vek aus Eigengewicht		$V_{EK, EG}$	9,50	[kN/m]	
Med aus EG		$M_{Ed, EG}$	6,70	[kNm/m]	
Ved aus EG		$V_{Ed, EG}$	9,50	[kN/m]	
Lasten um LAP aus Eigewicht RB					
H=	0,0 kN/m	V=	9,5 kN/m	M=	6,7 kNm/m

Abbildung 2.21: Tabellenblatt Basis2, Eigengewicht Randbalken

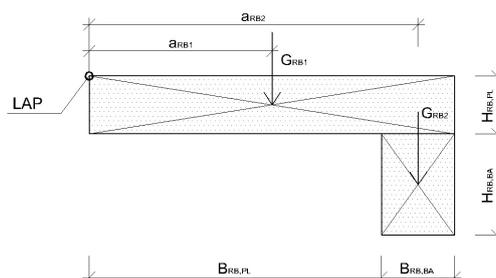


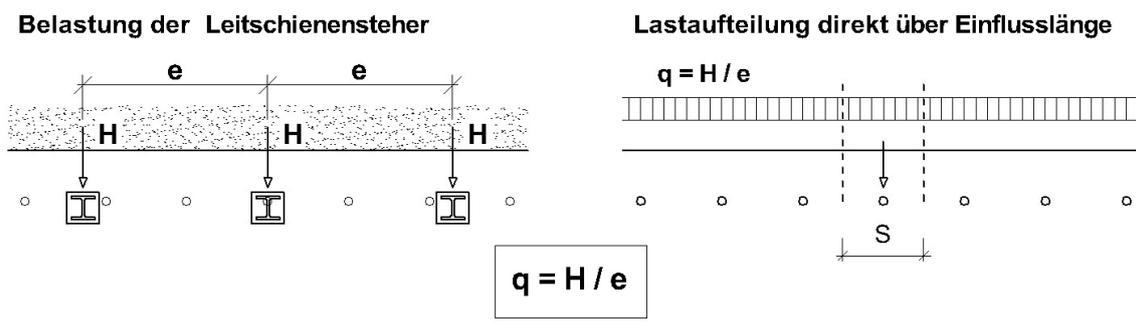
Abbildung 2.22: Eigengewichtsermittlung Randbalken

entsprechenden Lasten. In der Datentabelle für Rückhaltesysteme ist auch der Datensatz „- kein Rückhaltesystem -“ vorhanden. Alle Werte sind für dieses „Rückhaltesystem“ auf Null gesetzt (siehe Kapitel 2.3.1). Es ist daher an dieser Stelle keine Programmierung notwendig, um den Fall „kein Rückhaltesystem“ abzudecken. Für alle Rückhaltesysteme sind diese Lasten schon im Tabellenblatt `Dat_Rückh` in Kräfte und Momente getrennt hinterlegt.

Diese Anpralllasten sind der RVS 15.04.71 „Rückhaltesysteme auf Brücken“ [8] entnommen. Gemäß dieser RVS sind die Einwirkungen auf den Randbalken in Höhe der Randbalkenoberkante anzusetzen. Dies ist der im Programm gewählte Lastangriffspunkt LAP.

Es sind Horizontalkräfte und Momente mit dem Steherabstand e einzuleiten. Daraus folgt, dass die Position des Rückhaltesystems am Randbalken für die weitere Berechnung unerheblich ist. Da es sich bei den Kräften aus der RVS 15.04.71 um Einzelkräfte handelt, wird mittels des Steherabstandes e linear auf eine Streckenlast umgerechnet (siehe Abbildung 2.23).

Im nächsten Schritt werden die Lasten aus einer gewählten Lärmschutzwand (LSW) berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt sowohl für „Wind von rechts“ (in negativer horizontaler Richtung), als auch für den Lastfall „Wind von links“ (in positiver horizontaler Richtung). Abbildung 2.24 zeigt diese beiden Lastfälle. Im Lastfall „Wind von rechts“ wird die Höhe der Lärmschutzeinrichtung plus der Höhe des Randbalkens berücksichtigt. Dagegen wird im Lastfall „Wind von links“ nur die Höhe der Lärmschutzeinrichtung über RB-Oberkante berücksichtigt. Zusätzlich unterscheidet das Programm ständige sowie veränderliche Lasten. Die Lasten sind für beide Belastungsrichtungen, in ständige und veränderliche Lasten getrennt, in Horizontal- und Vertikalkräfte sowie



- q... Linienlast (für Zug- und Querlasten)
- H... Diskrete Einwirkung aus dem Leitschienensteher
- e... Steherabstand

Abbildung 2.23: Umrechnung der Leitschienenstehereinwirkung (H) auf eine Streckenlast

Momente angegeben. Der Bezugspunkt der errechneten Streckenlast bzw. Streckenmomentes ist wieder der Lastangriffspunkt LAP.

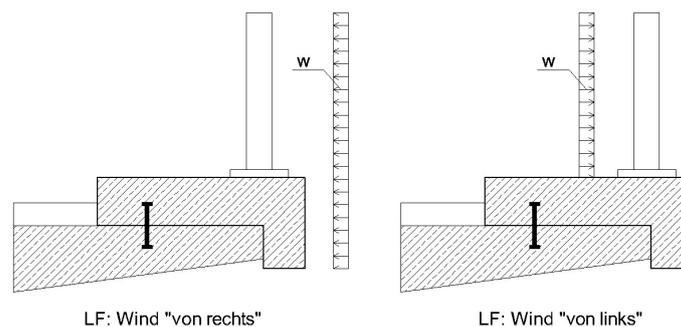


Abbildung 2.24: Richtung und Art der Windlasten

2.4.1.2 Lastfälle

Für die Berechnung der ungünstigsten Dübelbelastung sind folgende 4 Lastfälle erforderlich:

- LF1: Eigengewicht (EG) & freie Lasteingabe
- LF2: EG & freie Lasteingabe + Anpralllast
- LF3: EG & freie Lasteingabe + Windlast von rechts
- LF4: EG & freie Lasteingabe + Windlast von links

Diese Lastfälle werden analog einer händischen Berechnung der Reihe nach berechnet, mit Teilsicherheitsbeiwerten sowie ψ -Werten versehen und danach zu Lastfallsummen aufaddiert.

Unter der Lastfallerzeugung befindet sich eine Zusammenfassung der generierten Lastwerte. Bis zu diesem Berechnungsschritt werden sämtliche Lasten je Meter Brückenlänge betrachtet. Diese Lasten beziehen sich auf den Lastangriffspunkt LAP.

Belastung LF 1	γ -Wert
EG Randbalken	1,35
EG LSW	1,35
freie Lasteingabe	1,35

Belastung LF 2	γ -Wert
EG Randbalken	1,00
EG LSW	1,00
freie Lasteingabe	1,00
Anpralllasten	1,00

Tabelle 2.3: Kombination im LF 1 und LF 2

Belastung LF 3	γ -Wert
EG Randbalken	1,35
EG LSW	1,35
freie Lasteingabe	1,35
Windlast „von links“	1,50

Belastung LF 4	γ -Wert
EG Randbalken	1,35
EG LSW	1,35
freie Lasteingabe	1,35
Windlast „von rechts“	1,50

Tabelle 2.4: Kombination im LF 3 und LF 4

Die nächsten beiden Abschnitte behandeln die Umwandlung dieser Laufmeterlasten auf Kräfte je Dübel. Zusätzlich zu den beschriebenen 4 Lastfällen sind auf Wunsch der Firma Hilti noch zwei Reservelastfälle implementiert (derzeit γ -Werte auf 0 gesetzt). Bei Änderungen in den Normen können diese Faktoren bei Bedarf einfach geändert werden und es stehen dann bis zu 6 Lastfälle zur Verfügung.

2.4.1.3 Umrechnung auf Dübellasten – eine Dübelreihe

Den einwirkenden Kräften stehen die Dübelkräfte sowie eine Resultierende der Betondruckspannungen gegenüber. Zur Berechnung dieser Komponenten werden die Gleichgewichtsbedingungen $\sum H = 0$, $\sum V = 0$ und $\sum M = 0$ herangezogen. Der Randbalken wird dabei als starre Scheibe betrachtet. Dies ist in Abbildung 2.25 durch die gleichmäßige Verdrehung um den Drehpunkt angedeutet.

Die resultierende Dübelkraft setzt sich aus der Dübelnormalkraft sowie der Dübelhorizontalkraft zusammen. Der Abstand d kann vom Benutzer an die vorhandenen

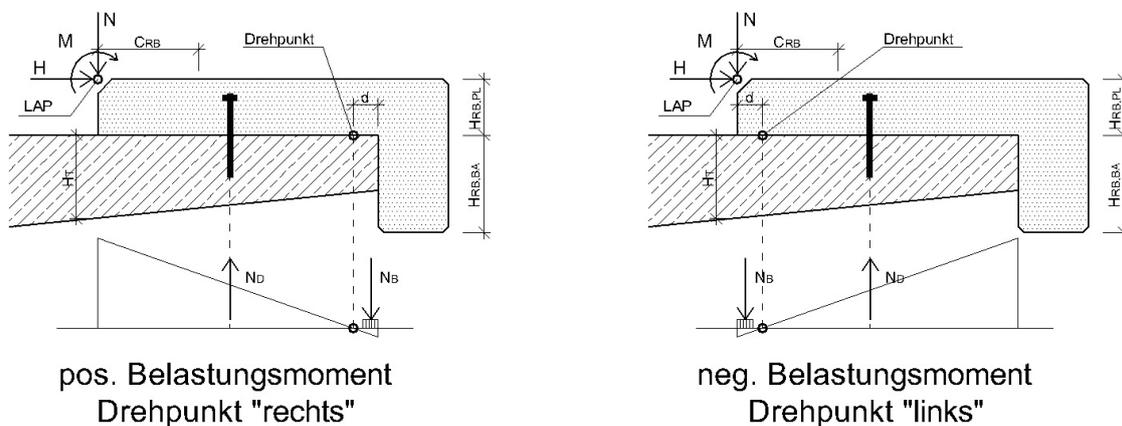


Abbildung 2.25: Aufteilung der Lasten für eine Dübelreihe

Gegebenheiten angepasst werden. Standardmäßig ist für d der Wert 10 mm eingestellt. Hier ist eine rechteckige Spannungsverteilung mit $0,80 \cdot d$ zu Grunde gelegt. Die resultierende Betondruckkraft wirkt im Schwerpunkt dieser Spannungsfläche (siehe Abbildung 2.25). Horizontalkräfte werden im Rechenmodell in dieser Fuge nicht berücksichtigt, da die Beschaffenheit der Brückenabdichtung nicht bekannt ist. Horizontalkräfte übertragen ausschließlich die Dübel. Aufgrund der Lasten aus Lärmschutzeinrichtungen muss der Drehpunkt nicht notwendigerweise auf der Brückenaußenseite liegen. Deswegen wird in einem weiteren Schritt die Lage des Drehpunktes ausgewertet. Das Programm überprüft dies für alle Lastfälle. Aufgrund des meist deutlich kürzeren Hebelsarmes, führt der Fall „Drehpunkt links“ zu großen Dübellasten. Nachdem die Lasten vom Bezugspunkt LAP auf Dübellasten transformiert sind, werden sie noch mithilfe des Setzabstandes auf Einzeldübellasten umgerechnet. Diese Umrechnung erfolgt ohne Erhöhungsfaktoren. Am Ende dieses Bereiches sind die berechneten Dübelkräfte nochmals zusammengefasst und übersichtlich dargestellt (siehe Abbildung 2.26).

eine Dübelreihe							
Umrechnung der Lasten vom Drehpunkt, auf eine Dübelreihenbelastung je Laufmeter, DREHPUNKT rechts							
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Abstand des Kräftepaars	r_{HEBEL}	0,50					[m]
Dübelkraft je Meter Randbalken		-8,82	-6,54	45,32	-63,26	0,00	0,00 [kNm/m]
Anzahl der Dübel je Laufmeter Brücke		1,8 Stk./m					
Schnittstelle, Belastung für Einzeldübel, Drehpunkt rechts in kN/Dübel							
Horizontalkraft je Dübel	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
Normalkraft je Dübel	N_D	-4,85	-3,59	24,92	-34,79	0,00	0,00 [kN]
Umrechnung der Lasten vom Drehpunkt, auf eine Dübelreihenbelastung je Laufmeter, DREHPUNKT links							
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Abstand des Kräftepaars	r_{HEBEL}	0,50					[m]
Dübelkraft je Meter Randbalken		-30,33	-22,46	-84,47	24,11	0,00	0,00 [kNm/m]
Anzahl der Dübel je Laufmeter Brücke		1,8 Stk./m					
Schnittstelle, Belastung für Einzeldübel, Drehpunkt links in kN/Dübel							
Horizontalkraft je Dübel	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
Normalkraft je Dübel, aus Moment/Hebelsarm "+"	N_D	-16,68	-12,36	-46,46	13,26	0,00	0,00 [kN]
Bemessungslast für einen Dübel in kN, bei EINER Dübelreihe							
relevante Lage des Drehpunktes		rechts	rechts	rechts	links	links	
Dübelhorizontalkraft für Bemessung	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
Dübelnormalkraft für Bemessung	N	-4,85	-3,59	24,92	13,26	0,00	0,00 [kN]

Abbildung 2.26: Tabellenblatt Basis2, Zerlegung in Dübelkräfte – einreihig

2.4.1.4 Umrechnung auf Dübellasten – zwei Dübelreihen

Die Transformation der einwirkenden Kräfte erfolgt unter denselben Bedingungen wie bei einer Dübelreihe. Auch hier wird der Randbalken als starre Scheibe betrachtet, und es kommt ebenfalls eine rechteckige Spannungsverteilung ($0,8 \cdot d$) in der Betondruckzone zum Einsatz. Die resultierende Betondruckkraft greift im Schwerpunkt der Spannungsfläche an (siehe Abbildung 2.27). Die Berechnung der Dübelkräfte gestaltet sich bei zwei Dübelreihen etwas komplizierter.

Im ersten Schritt wird das Verhältnis der beiden Dübelnormalkräfte aufgrund der geometrischen Anordnung der Dübel zueinander sowie zum Drehpunkt berechnet. Es ergibt sich damit beinahe dieselbe Gleichung wie bei einer Dübelreihe. Aus dieser Gleichung wird die Belastung der ersten Dübelreihe ermittelt. Im zweiten Schritt wird über den zuvor berechneten Proportionalitätsfaktor der beiden Dübelreihen die Belastung

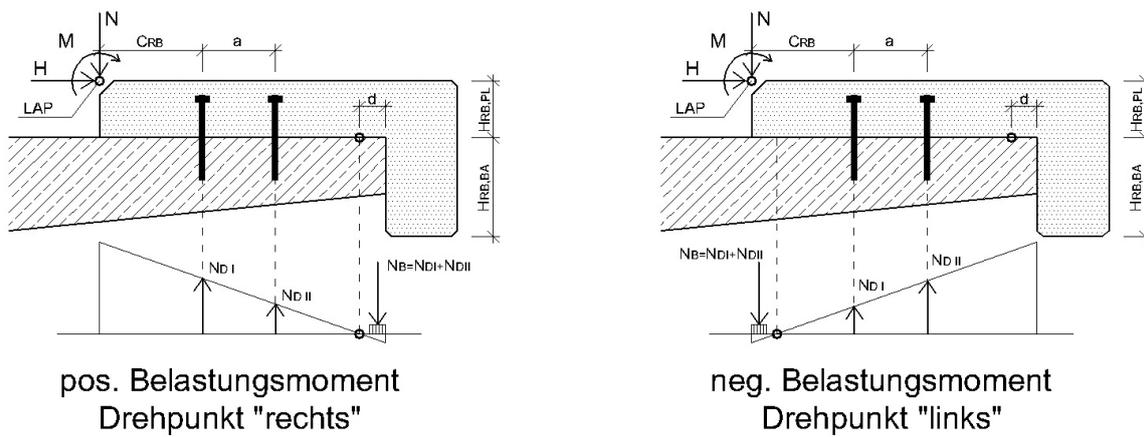


Abbildung 2.27: Aufteilung der Lasten für zwei Dübelreihen

der zweiten Dübelreihe berechnet. Die Horizontalkräfte werden jeweils zur Hälfte auf die erste Dübelreihe und zur Hälfte auf die zweite Dübelreihe aufgeteilt. Die Fuge zwischen Randbalken und Tragwerk nimmt, wie bei der Situation mit einer Dübelreihe, keinerlei Horizontalkräfte auf. Die Aufteilung der Laufmeterlasten erfolgt für beide Dübelreihen getrennt über den jeweiligen Setzabstand. Es werden keine Erhöhungsfaktoren berücksichtigt.

2.4.1.5 Möglichkeit zur Überschreibung der berechneten Dübellasten

Auf Wunsch der Fa. Hilti wurde an dieser Stelle die Möglichkeit geschaffen, Hilti-intern die berechneten Dübellasten manuell zu überschreiben. Mit einem Dropdownmenü kann zwischen der standardmäßigen Berechnung und der internen Überschreibung gewählt werden. Wird im Dropdownmenü „Lasterzeugung überschreiben“ gewählt, so werden für die weitere Bemessung die Dübellasten aus der rot eingerahmten Eingabematrix entnommen (siehe Abbildung 2.28). Hierbei ist zu beachten, dass diese Werte vom Programm ohne weitere Prüfung verwendet werden. Diese Möglichkeit steht dem externen Benutzer nicht zur Verfügung.

Overridemöglichkeit für Hilti-interne Eingabe von beliebigen Laufmeterlasten auf die Dübelreihe 1 und 2							
hier können beliebige Lasten je Meter Verankerung eingegeben werden. Automatische umrechnung auf Last je Dübel.							
Lasterzeugung überschreiben:		Lasterzeugung des Programms benutzen (Funktion wie beim Kunden)					
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
REIHE I	H [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REIHE II	H [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Abbildung 2.28: Override der Dübellasten (Hilti-intern)

2.4.2 Rechenkern – BAD HVZ HCR im Tragwerk nach ETAG Annex C

Dieses Tabellenblatt beinhaltet die Nachweise für das Dübelssystem BAD HVZ HCR im Tragwerk. Sämtliche Nachweise erfolgen gemäß der Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalleidübel zur Verankerung in Beton, ETAG 001, Annex C [1]. Im Folgenden wird dieses Werk Annex C genannt. Es kommt das Bemessungsverfahren A zum Einsatz. Sämtliche in diesem Kapitel zitierte Formelnummern beziehen sich auf dieses Werk.

Im obersten Bereich des Tabellenblattes werden alle für die Nachweise benötigten Daten aus den anderen Tabellenblättern übertragen (siehe Abbildung 2.29). Farbige gestaltete Zellen ermöglichen eine rasche Zuordnung der Datenherkunft. Die Herkunft wird durch eine Legende erklärt (siehe Abbildung 2.29 unten mittig). Das Tabellenblatt heißt programmintern Kern2, daher beginnen sämtliche Zellnamen, die sich auf dieses Blatt beziehen, mit dem Präfix rK2. Alle hier beschriebenen Berechnungsschritte werden für die zuvor erwähnten 6 Lastfälle berechnet, jeweils für die Fälle „eine Dübelreihe“ sowie „zwei Dübelreihen“ gesondert. Am Ende dieses Tabellenblattes erfolgt die Ausgabe des maßgebenden Lastfalles. Für den Lastfall LF2, welcher die außergewöhnliche Belastung aus dem Rückhaltesystem enthält, können die materialeitigen Teilsicherheitsfaktoren mittels eines Dropdownmenüs im Tabellenblatt Eingabe abgemindert werden (siehe Abbildung 2.10, Seite 16). Abbildung 2.29 rechts zeigt die materialeitigen Teilsicherheitsbeiwerte, nach Einzelnachweisen und in Grundkombination sowie außergewöhnliche Kombination gegliedert. Abgemindert wird optional jeweils nur der materialspezifische Anteil des Teilsicherheitsbeiwertes.

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
10																	
11			Bemessung nach ETAG Annex C, für Dübel mit fixer Einbindetiefe (System BAD HVZ HCR)														
12																	
13				Dübelreihe 1						Dübelreihe 2							
14			einreihig	LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6		
15			N _{Ed}	0 N	0 N	24924 N	13260 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N		
16			H _{Ed}	0 N	0 N	7673 N	-6600 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N		
17																	
18			Randabstände			Dübelkennwerte (aus Tabelle für fixe Dübellängen)						Teilsicherheitsbeiwert für:					
19			c ₉₀	500 [mm]	Gewünschter Dübel: M16 x 105/300						STAHLSERAGEN:						
20			c _r	500 [mm]	h _{ref}	105 [mm]	V _{ak,s}	56000 [N]	HERAUSZIEHEN:			Grundk.	Außergew.				
21			s _i	550 [mm]	N _{ak,s}	90000 [N]	k	2 []	BETONAUSSBRUCH:			1,50	1,00				
22			s _{ii}	700 [mm]	s _{cr,ii}	315 [mm]	d _{nom}	18 [mm]	SPALTEN:			1,50	1,20				
23			h _{tr}	250 [mm]	s _{cr,sp}	315 [mm]	STAHLSERAGEN, QUERLAST:			1,50	1,00						
24			h _{tr,ak}	200 [mm]	c _{cr,sp}	157,5 [mm]	BETONAUSSBRUCH (PRYOUT):			1,50	1,35						
25			a	0 [mm]	c _{cr,sp}	157,5 [mm]	BETONKANTENBRUCH:			1,50	1,35						
26					c _{min}	70 [mm]	Werte aus "Basis2"										
27			h Reihe 2	225,0 [mm]	s _{min}	70 [mm]	Werte aus "Datenblatt"										
28			Betongüte			h _{min}	210 [mm]	Werte aus "Route"									
29			Tragwerk	C30/37	h_Reihe2	210 [mm]	Werte in diesem Blatt berechnet										
30			f _{ck,cube}	37 [N/mm ²]													

Abbildung 2.29: Tabellenblatt Kern2, Datenübertrag

Nun folgt eine Auflistung der einzelnen Nachweise. In Kapitel 3.3 ab Seite 57 werden diese Nachweise anhand eines Beispiels durchgerechnet. Ebenso sind dort für jeden Nachweis die entsprechenden Bereiche aus dem Tabellenblatt Kern2 abgebildet.

2.4.2.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Gemäß Annex C Abschnitt 5.2.2.2 ist der charakteristische Widerstand $N_{Rk,s}$ eines Dübels der entsprechenden Dübelzulassung (ETA-03/0032 [6]) entnommen. Dieser cha-

Charakteristische Widerstand wird durch den Teilsicherheitsfaktor γ_{Ms} abgemindert und danach der Auslastungsgrad $\beta_{N,s}$ mit dem Bemessungswert der Einwirkungen N_{Sd} berechnet.

2.4.2.2 Zentrischer Zug – Herausziehen

Laut Annex C Abschnitt 5.2.2.3 ist der Widerstand $N_{Rk,p}$ eines Dübels gegen Herausziehen der jeweiligen Dübelzulassung zu entnehmen. Die Dübelzulassung (ETA-03/0032) für das Dübelssystem HVZ HCR gibt an, dass das Versagen durch Herausziehen nicht maßgebend ist. Dieser Nachweis muss daher nicht geführt werden.

2.4.2.3 Zentrischer Zug – Betonausbruch

Der Nachweis erfolgt gemäß Annex C Abschnitt 5.2.2.4. Zuerst berechnet das Programm die notwendigen Beiwerte:

- $\psi_{ucr,N}$ berücksichtigt den Einfluss und die Lage der Verankerung im gerissenen oder ungerissenen Beton. Für die Bemessung wird immer von gerissenen Beton ausgegangen; daher ist dieser Faktor fix mit 1,00 implementiert.
- $\psi_{ec,N}$ berücksichtigt den Einfluss unterschiedlicher Zugkräfte bei Dübelgruppen. Die Dübel werden jeweils als Einzeldübel betrachtet; somit ist dieser Faktor fix mit 1,00 implementiert.
- $\psi_{re,N}$ berücksichtigt den Einfluss einer Bewehrung und hängt gemäß Formel (5.2d) des Annex C von der Verankerungstiefe h_{ef} ab. Der Beiwert ist immer $\leq 1,00$.
- ψ_s,N berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes im Beton. Abhängig von Lastfall und Dübelreihe wird hier der jeweils kleinste Randabstand zum Tragwerksrand berücksichtigt.

Die Abmessungen der Fläche des Ausbruchkörpers $A_{c,N}^0$ eines Einzeldübels (siehe Abbildung 2.30) wird vom Programm in Brückenlängs- und Brückenquerrichtung getrennt berechnet. In Brückenlängsrichtung sind dies der kleinere Wert aus dem dübelabhängigen Wert $s_{cr,N}$ (siehe Abbildung 2.30) sowie dem der betrachteten Dübelreihe entsprechenden Setzabstand, s_1 oder s_2 – Länge – (siehe Abbildungen 2.31 und 2.32). Die Abmessung des Ausbruchkörpers in Querrichtung – Breite – setzt sich aus dem Minimum aus $s_{cr,N}/2$ und für den zweireihigen Fall $a/2$ plus dem Minimum aus $s_{cr,N}$ und dem entsprechenden Randabstand zusammen (siehe Abbildung 2.32). Die Abmessungen des Ausbruchkörpers der zweiten Dübelreihe sind in Abbildung 2.33 dargestellt. Die vorhandene Ausbruchfläche ergibt sich dann aus der Multiplikation von Länge und Breite. Die maximale Fläche des Ausbruchkörpers auf der Betonoberfläche ergibt sich durch Quadrieren des dübelspezifischen Tabellenwertes $s_{cr,N}$. Gemäß Annex C Formel (5.2a) wird der charakteristische Widerstand eines Dübels im gerissenen Beton berechnet. Die Einbindetiefe h_{ef} wird aus dem Tabellenblatt `Dat_Dübel` entnommen. Die charakteristische Würfeldruckfestigkeit $f_{ck,cube}$ stammt aus dem Tabellenblatt `Dat_Betone`. Abschließend wird Formel (5.2) des Annex C ausgewertet, durch γ_{Mc} dividiert und der Ausnutzungsgrad $\beta_{N,c}$ berechnet.

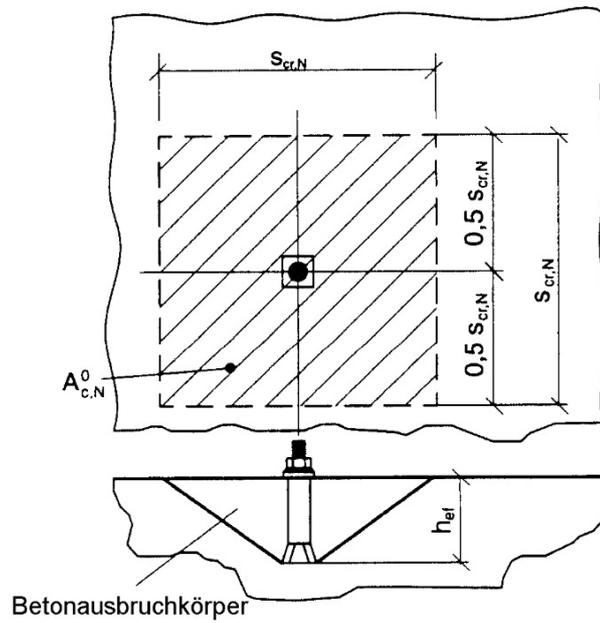


Abbildung 2.30: Erklärung von $A_{c,N}^0$ und $s_{cr,N}$; aus Annex C, Abbildung 5.1 [1]

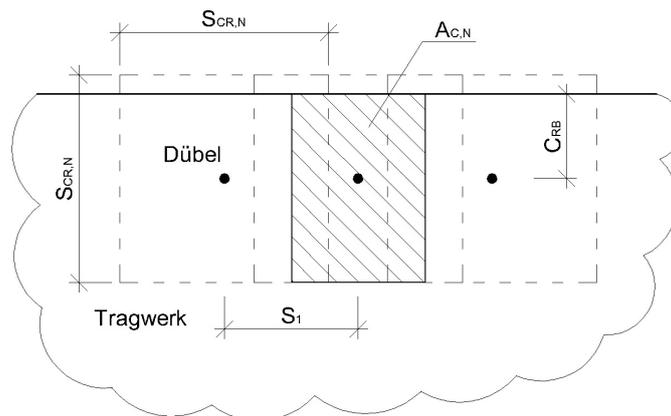


Abbildung 2.31: Erklärung der tatsächlichen Ausbruchsfläche $A_{c,N}$ bei einer Dübelreihe

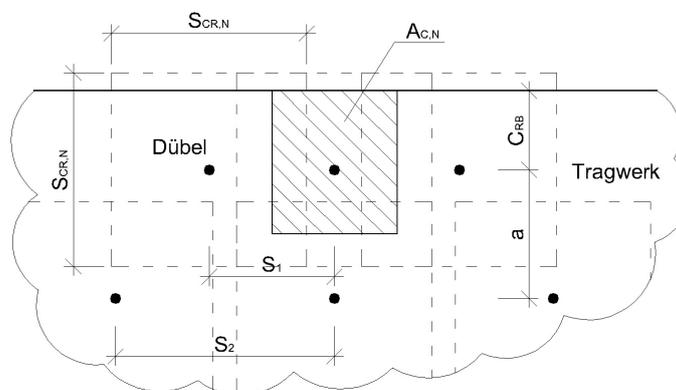


Abbildung 2.32: Erklärung der tatsächlichen Ausbruchsfläche $A_{c,N}$ für zwei Dübelreihen, erste Reihe

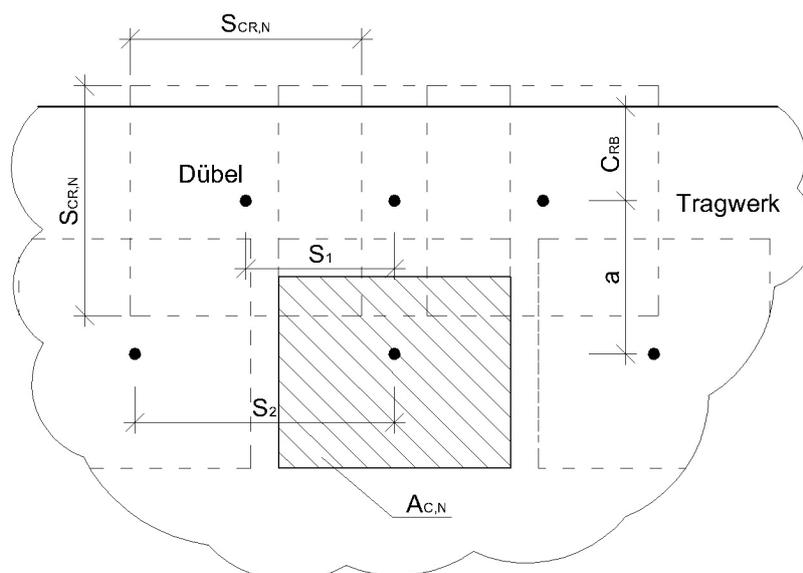


Abbildung 2.33: Erklärung der tatsächlichen Ausbruchsfläche $A_{c,N}$ für zwei Dübelreihen, zweite Reihe

2.4.2.4 Zentrischer Zug – Spalten des Betons bei Belastung

Der Nachweis wird gemäß Annex C Abschnitt 5.2.2.6 geführt. Die Beiwerte $\psi_{ucr,N}$, $\psi_{ec,N}$, $\psi_{re,N}$ und $\psi_{s,N}$ werden analog zu den Ausführungen im Kapitel 2.4.2.3 berechnet, wobei $s_{cr,N}$ durch $s_{cr,sp}$ ersetzt wird.

Der Faktor $\psi_{h,sp}$ berücksichtigt den Einfluss der Bauteildicke auf die Spaltfestigkeit und berechnet sich mit der an der jeweiligen Dübelposition vorhandenen Bauteildicke. Anschließend wird $N_{Rk,sp}$ aus Annex C Formel (5.3) berechnet und für den Bemessungswert durch γ_{Msp} dividiert. Dann lässt sich der Auslastungsgrad $\beta_{N,sp}$ ermitteln.

2.4.2.5 Querkraft – Stahlversagen

Es kann der Nachweis „Querlast ohne Hebelsarm“ geführt werden, da aufgrund der Gegebenheiten (Beton auf Tragwerk) kein Hebelsarm vorhanden ist. Der Nachweis erfolgt daher gemäß Annex C Abschnitt 5.2.3.2a. Der charakteristische Widerstand $V_{Rk,s}$ des Dübels entstammt der Dübelzulassung; im Programm sind diese Werte im Tabellenblatt `Dat_Duebel` gespeichert. Division durch γ_{Ms} ergibt den Bemessungswert $V_{Rd,s}$. Anschließend wird der Auslastungsgrad $\beta_{H,s}$ errechnet.

2.4.2.6 Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)

Der Nachweis erfolgt gemäß Annex C Abschnitt 5.2.3.3. Den Faktor k für den jeweils gewählten Dübel entnimmt das Programm aus dem Tabellenblatt `Dat_Duebel`. Laut Annex C Formel (5.6) wird der charakteristische Widerstand gegen Pryout $H_{Rk,cp}$ berechnet. Teilsicherheitsbeiwert für diesen Nachweis ist γ_{Mcp} . Aus dem Bemessungswert der Einwirkung H_{Sd} sowie dem Bemessungswert des Widerstandes $H_{Rd,cp}$ errechnet sich der Auslastungsgrad $\beta_{H,cp}$.

2.4.2.7 Querkraft – Betonkantenbruch

Der Nachweis wird gemäß Annex C Abschnitt 5.2.3.4 geführt. Dabei sind folgende Beiwerte zu berücksichtigen:

- $\psi_{ucr,V}$ erfasst den Einfluss der Bewehrung und kann die Werte 1,00, 1,20 oder 1,40 annehmen (vgl. Tabelle Seite 2.5). Dies geschieht mittels eines Dropdownmenüs im Tabellenblatt **Eingabe**. Hier kann die entsprechende Bewehrungssituation ausgewählt werden. Das Programm benutzt dann den entsprechenden Wert.
- $\psi_{ec,V}$ hängt vom Einfluss unterschiedlicher Querlasten auf die Dübel einer Gruppe ab. Da die Dübel jeweils als Einzeldübel betrachtet werden, ist dieser Wert fest mit 1,00 programmiert.
- $\psi_{\alpha,V}$ berücksichtigt den Winkel α_V zwischen der einwirkenden Last und der Richtung senkrecht zur freien Bauteilkante. Dieser Wert ist mit 1,00 fest programmiert, da die Richtung der einwirkenden Last immer rechtwinkelig angreift (quer zur Brückenlängsachse).
- $\psi_{h,V}$ berücksichtigt, dass der Querwiderstand nicht proportional zur Bauteildicke abnimmt. Für die Abmessung h in Annex C Formel (5.7d) wird die Bauteilhöhe an der entsprechenden Dübelposition herangezogen.
- $\psi_{s,V}$ erfasst die Störung des Spannungszustandes im Beton durch weitere Bauteilränder. Aufgrund der angenommenen Bemessungssituation (Randbalken auf Tragwerk) ist der Randabstand quer zur Brückenachse immer maßgebend. Daher ist dieser Faktor mit 1,00 fix implementiert.

Die vorhandene Fläche des Ausbruchskörpers $A_{c,V}$ wird in zwei Schritten berechnet. Zuerst ermittelt das Programm die Abmessung des Ausbruchskörpers in Brückenlängsrichtung. Als Breite wird der kleinere Wert aus $3 \cdot c_1$ (wobei c_1 der Randabstand ist) oder dem Setzabstand s_1 bzw. s_2 gewählt. Die zur Verfügung stehende Höhe des Ausbruchskörpers berechnet sich aus dem kleineren Wert von $1,5 \cdot c_1$ oder der Plattendicke am Ende des Kragarmes. Durch Multiplikation von vorhandener Breite und Höhe ergibt sich die Fläche des Ausbruchskörpers $A_{c,V}$. Die ideelle Fläche des Ausbruchskörpers $A_{c,V}^0$ ohne Einfluss durch den Setzabstand bzw. die Plattenstärke ergibt sich zu $4,5 \cdot c_1^2$. Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels $V_{Rk,c}^0$ wird gemäß Formel (5.7a) berechnet. Alle erforderlichen Werte entnimmt das Programm den entsprechenden Tabellenblättern. Mittels Formel (5.7) wird der charakteristische Widerstand bei Betonkantenbruch ermittelt und anschließend durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} dividiert. Bei zweireihiger Bemessungssituation erhält die dem Tragwerksrand nähere Dübelreihe (Reihe 2) die halbe Querkraft, die randfernere Dübelreihe (Reihe 1) jedoch die gesamte Querkraft (siehe Abbildung 2.34). Die Kräfte in Abbildung 2.34 stehen daher nicht im Gleichgewicht. Dargestellt sind jene Kräfte, welche für den Nachweis Betonkantenbruch im Programm verwendet werden. Diese Aufteilung der Kräfte wurde von der Firma Hilti gewünscht. Dies erfolgt aus der

Überlegung heraus, dass die von Dübelreihe 2 eingetragenen Kräfte ebenfalls durch den Ausbruchskegel von Dübelreihe 1 geleitet werden müssen.

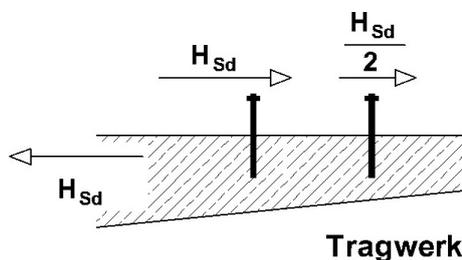


Abbildung 2.34: Verteilung der Querkräfte bei Betonkantenbruch

2.4.2.8 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Gemäß Annex C Abschnitt 5.2.4 sind zwei Interaktionsbedingungen zulässig. Das Programm verwendet die genauere Variante laut Formel (5.9), da dies eine wirtschaftlichere Bemessung erlaubt. Der Beiwert α erhöht sich automatisch von 1,50 auf 2,00, wenn für N_{Rd} und V_{Rd} Stahlversagen maßgebend ist. β_N bzw. β_V nehmen den jeweils größten Auslastungsgrad eines Nachweises bei Normalkraft- bzw. Querkraftbeanspruchung an. Die Auslastung der Verdübelung in beide Richtungen illustriert ein eingefügtes Diagramm. Nach diesem Berechnungsschritt ist die Auslastung für jeden Lastfall bekannt. Das Programm kann somit den maßgebenden Lastfall bestimmen, dessen Ergebniswerte in der Zusammenfassung im Tabellenblatt **Eingabe** sowie im entsprechenden Ergebnistabellenblatt übernommen werden.

2.4.3 Rechenkern – HRB TZ HCR im Tragwerk nach EOTA Technical Report 029

Dieses Tabellenblatt enthält die Nachweise für das Dübelssystem HRB TZ HCR im Tragwerk. Sämtliche Nachweise erfolgen gemäß EOTA Technical Report TR 029 „Bemessung von Verbunddübeln“ [2], im Folgenden vereinfacht TR029 genannt. Alle zitierten Formelnummern beziehen sich auf TR029. Im obersten Bereich des Tabellenblattes werden alle für die Nachweise benötigten Daten aus den anderen Tabellenblättern übertragen. Farblich gestaltete Zellen ermöglichen eine rasche Zuordnung der Datenherkunft. Das Tabellenblatt heißt programmintern Kern3, daher beginnen sämtliche Zellnamen, die sich auf dieses Blatt beziehen, mit dem Präfix **rK3**. Alle hier beschriebenen Berechnungsschritte werden für alle Lastfälle (für den Fall „eine Dübelreihe“ sowie den Fall „zwei Dübelreihen“) gesondert berechnet, da erst am Ende dieses Tabellenblattes ermittelt werden kann, welcher Lastfall maßgebend ist. Es finden dabei wieder die 6 in Abschnitt 2.4.1.2 beschriebenen Lastfälle Verwendung. Die Teilsicherheitsbeiwerte für LF2 können bei Bedarf abgemindert werden. Dies geschieht durch das Dropdownmenü im Tabellenblatt **Eingabe** im Bereich „Teilsicherheitsbeiwerte Materialseite“.

Es folgt eine Beschreibung der berücksichtigten Nachweise. In Kapitel 4.3 auf Seite 79 werden diese Nachweise anhand eines Beispiels nachgerechnet, ebenso sind dort für jeden Nachweis die entsprechenden Bereiche aus dem Tabellenblatt `Kern3` enthalten.

2.4.3.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,s}$ eines Dübels bei Stahlversagen darf gemäß TR029 Abschnitt 5.2.2.2 aus der jeweiligen Dübelzulassung (ETA-07/0260 [6]) entnommen werden. Die entsprechenden Werte sind im Tabellenblatt `Dat_Dübel` gelistet. Anschließend wird durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ms} dividiert, um den Bemessungswert zu erhalten. Das Verhältnis zum Bemessungswert der Einwirkung $N_{Sd,s}$ ergibt den Auslastungsgrad $\beta_{N,s}$.

2.4.3.2 Zentrischer Zug – kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch

Dieser Nachweis ist gemäß TR029 Abschnitt 5.2.2.3 angeführt. Zuerst berechnet das Programm die notwendigen Beiwerte:

- $\psi_{re,Np}$ nennt sich Schalenabplatzfaktor und hängt von h_{ef} ab.
- $\psi_{ec,Np}$ berücksichtigt den Einfluss unterschiedlicher Zugkräfte auf die Dübel einer Gruppe. Das Programm betrachtet jeden Dübel als Einzeldübel, daher ist dieser Faktor fix mit 1,00 implementiert.
- $\psi_{g,Np}$ erfasst den Einfluss der Oberfläche des Ausbruchskörpers und ist im Programm ebenfalls fix mit 1,00 implementiert.
- $\psi_{s,Np}$ berücksichtigt die Störung des rotationsymmetrischen Spannungszustandes. Dafür wird zunächst der Wert $s_{cr,Np}$ sowie $c_{cr,Np}$ berechnet. Die Länge $s_{cr,Np}$ berechnet sich nach Formel (5.2c). Der dübel-spezifische Wert $\tau_{Rk,ucr}$ wird vom Programm dübel-spezifisch aus dem Tabellenblatt `Dat_Dübel` entnommen. Der Wert $c_{cr,Np}$ wird gemäß Formel (5.2d) berechnet.
- $\psi_{s,Np}$ berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes im Beton: Berechnung erfolgt gemäß Formel (5.2e). Der Randabstand c wird dabei stets von der Dübelachse zum äußeren Rand gemessen.

Als nächstes wird die Ausbruchsfläche eines Einzeldübels mit großen Achs- und Randabständen auf der Betonoberfläche $A_{p,N}^0$ gemäß Formel (5.2b) ermittelt. Die tatsächlich vorhandene Fläche $A_{p,N}$ berechnet sich aus der in Längsrichtung und in Querrichtung zur Verfügung stehenden Betonfläche. In Brückenlängsrichtung (l_{laengs}) ist dies der kleinere Wert aus $s_{cr,Np}$ und dem der Dübelreihe entsprechenden Setzabstand, s_1 bzw. s_2 . In Brückenquerrichtung (l_{quer}) ist der Wert abhängig vom jeweiligen Rand- sowie Setzabstand. Der Setzabstand teilt sich dabei zur Hälfte auf beide Dübelreihen auf. Zwischenräume in Längsrichtung werden auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes $N_{Rk,p}^0$ eines Dübel ist gemäß Formel (5.2a) zu berechnen. Die Datentabelle `Dat_Betone` liefert dazu den Materialkennwert τ_{Rk} entsprechend der ausgewählten Betonfestigkeitsklasse. Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,p}$ bei kombiniertem Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch wird gemäß Formel (5.2) berechnet. Den Bemessungswert $N_{Rd,p}$ erhält man mittels Division durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mp} . Als letzter Schritt erfolgt die Berechnung des Auslastungsgrades $\beta_{N,Np}$ aufgrund des Bemessungswertes der Einwirkungen $N_{Sd,p}$.

2.4.3.3 Zentrischer Zug – Betonausbruch

Auch hier beginnt der Nachweis mit der Berechnung der Beiwerte. Dies erleichtert eine nachträgliche Kontrolle per Handrechnung.

- $\psi_{ec,N}$ erfasst den Einfluss unterschiedlicher Zugkräfte, welche auf die Dübel wirken. Das Programm betrachtet jeden Dübel als Einzeldübel. Daher ist dieser Wert mit 1,00 fix implementiert.
- $\psi_{re,N}$ (Schalenabplatzfaktor) berücksichtigt den Einfluss der Bewehrung und hängt von der Einbindetiefe h_{ef} ab.
- $\psi_{s,N}$ berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes durch Bauteilränder. Die Berechnung erfolgt nach Formel (5.3c), wobei der Randabstand c von der entsprechenden Dübelreihe zum Bauteilrand gemessen wird.

Die Fläche des Ausbruchskörpers $A_{c,N}^0$ eines Einzeldübel mit großem Achs- und Randabstand auf der Betonoberfläche wird gemäß Formel (5.3b) aus der Einbindetiefe h_{ef} berechnet. Die vorhandene Fläche des Ausbruchskörpers der Verankerung auf der Betonoberfläche ergibt sich aus Multiplikation der Längen l_{laengs} und l_{quer} . Der Wert l_{laengs} ist dabei der kleinere Wert aus $s_{cr,N}$ und dem entsprechenden Dübelsetzabstand. Die Abmessung des Ausbruchskörpers in Brückenquerrichtung l_{quer} wird entsprechend der betrachteten Dübelreihe durch den Tragwerksrand, die Abmessung $c_{cr,N}$ und den Abstand der Dübelreihen begrenzt. Jede Reihe erhält die Hälfte des Abstandes zwischen den Dübelreihen zugewiesen. Zwischenräume zwischen Ausbruchflächen einer Dübelreihe in Längsrichtung sind dabei auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes $N_{Rk,c}^0$ eines Dübels berechnet sich gemäß Formel (5.3a). Der Faktor k_1 aus Formel (5.3) ist dabei mit 7,2 (Anwendung im gerissenen Beton) implementiert. Den von der gewählten Betonsorte abhängigen Materialkennwert $f_{ck,cube}$ liefert das Datenblatt `Dat_Betone`.

Den Bemessungswert des Widerstandes $N_{Rd,c}$ erhält man mittels des Teilsicherheitsbeiwertes $\gamma_{N,c}$ und den Auslastungsgrad $\beta_{N,c}$ durch Vergleich der Einwirkung $N_{Sd,c}$ mit dem Widerstand $N_{Rd,c}$.

2.4.3.4 Zentrischer Zug – Spalten bei Belastung

TR029 Abschnitt 5.2.2.6 gibt die notwendigen Schritte für diesen Nachweis an. Die Werte $\psi_{ec,N}$, $\psi_{re,N}$, $\psi_{s,N}$, $N_{Rk,c}^0$ werden analog zu 2.4.3.3 berechnet. Dabei sind die Werte $c_{cr,N}$ und $s_{cr,N}$ durch die Werte $c_{cr,sp}$ und $s_{cr,sp}$ zu ersetzen. Abbildung 2.35 zeigt wie $c_{cr,sp}$ und $s_{cr,sp}$ gemäß der Dübelzulassung [7] ermittelt werden.

Spalten ⁴⁾			
Randabstand $c_{cr,sp}$ [mm] für	$h / h_{ef}^{6)} \geq 2,0$	$1,0 h_{ef}$	
	$2,0 > h / h_{ef}^{6)} > 1,3$	$4,6 h_{ef} - 1,8 h$	
	$h / h_{ef}^{6)} \leq 1,3$	$2,26 h_{ef}$	
Achsabstand	$s_{cr,sp}$ [mm]	$2 c_{cr,sp}$	
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{Mp} = \gamma_{Mc} = \gamma_{Msp}^{1)}$ [-]	$1,8^{2)}$	$2,1^{3)}$

Abbildung 2.35: Ermittlung von $c_{cr,sp}$ und $s_{cr,sp}$ gemäß Dübelzulassung (ETA-07/0260) Tabelle 8 [7]

Der Beiwert $\psi_{h,sp}$ berechnet sich gemäß den Formeln (5.4a) und (5.4b). Der charakteristische Widerstand eines Dübels wird gemäß Formel (5.4) berechnet. Den Bemessungswert des Widerstandes $N_{Rd,sp}$ erhält man mittels des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Msp} ; den Auslastungsgrad $\beta_{N,c}$ für die Versagensart „Spalten des Betons bei Belastung“ mittels Vergleich mit dem Bemessungswert der Einwirkungen $N_{Sd,sp}$.

2.4.3.5 Querkraft – Stahlversagen

Dieser Nachweis wird gemäß TR029 Abschnitt 5.2.3.2 geführt. Je nach gewähltem Dübel liefert das Datenblatt `Dat_Dübel` den charakteristischen Wert $H_{Rk,s}$. Mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Ms,h}$ erhält man den Bemessungswert des Widerstandes $H_{Rd,s}$. Da für die Auslastung die Belastungsrichtung nicht relevant ist, ergibt sich der Auslastungsgrad $\beta_{N,c}$ mittels des Absolutwertes des Bemessungswertes der Querkraftbeanspruchung H_{Sd} .

2.4.3.6 Querkraft – Pryout-Versagen

TR029 Abschnitt 5.2.3.3 beschreibt den Nachweis gegen Pryout-Versagen. Das Datenblatt `Dat_Dübel` liefert den Faktor k je nach gewähltem Dübeltyp. Der charakteristische Widerstand $H_{Rk,cp}$ wird als der kleinere Ergebniswert aus Formel (5.7) bzw. (5.7a) ermittelt. Division durch den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Ms,h}$ ergibt den Bemessungswert des Widerstandes $H_{Rd,cp}$. Danach ermittelt das Programm den Auslastungsgrad $\beta_{H,cp}$.

2.4.3.7 Querkraft – Betonkantenbruch

Der Nachweis gegen Betonkantenbruch wird gemäß TR029 Abschnitt 5.2.3.4 geführt. Zuerst erfolgt die Berechnung der Beiwerte:

- $\psi_{Re,H}$ berücksichtigt den Einfluss der Art der Bewehrung im gerissenen Beton. Je nach gewählter Bewehrungssituation wird dieser Faktor nach Tabelle 2.5 gewählt.

$\psi_{Re,H} = 1,00$	Verankerung im ungerissenen Beton und Verankerung im Beton ohne Randbewehrung
$\psi_{Re,H} = 1,20$	Verankerung im gerissenen Beton mit gerader Randbewehrung ($\leq \varnothing 12 \text{ mm}$)
$\psi_{Re,H} = 1,40$	Verankerung im gerissenen Beton mit Rand- und engmaschiger Aufhängebewehrung ($a \leq 120 \text{ mm}$)

Tabelle 2.5: Werte für $\psi_{Re,H}$ in Abhängigkeit der Bewehrung

- $\psi_{ec,V}$ erfasst den Einfluss unterschiedlicher Querlasten auf die jeweiligen Dübel einer Gruppe. Das Programm betrachtet jeden Dübel als Einzeldübel, daher ist dieser Wert fix mit 1,00 implementiert.
- $\psi_{\alpha,V}$ berücksichtigt den Winkel α_H zwischen der einwirkenden Last H_{Sd} und der Richtung senkrecht zur freien Bauteilkante. Aufgrund der Bemessungssituation wirken die Kräfte immer senkrecht auf den freien Bauteilrand; der Faktor ist daher fest mit 1,00 implementiert. Es sind nur jene Kräfte in Rechnung zu stellen, welche den Dübel vom Tragwerk in Richtung freier Tragwerksrand oder parallel dazu beanspruchen. Wird die Verbindung mit Kräften belastet, die den Dübel an das Tragwerk drücken (z.B. hohe Windlast „von rechts“), wird der gesamte Nachweis gemäß TR029 Abschnitt 5.2.3.4e nicht geführt.
- $\psi_{h,V}$ berücksichtigt, dass der Querwiderstand nicht proportional zur Bauteildicke abnimmt und wird gemäß Formel (5.8f) berechnet.
- $\psi_{s,V}$ erfasst die Störung des Spannungszustandes im Beton durch weitere Bauteilränder. Die Bemessungssituation ist jedoch stets ein Ausschnitt aus einer endlos langen Befestigung. Daher müssen keine weiteren Bauteilränder berücksichtigt werden; der Wert $\psi_{s,H}$ ist fix mit 1.00 implementiert.

Die Fläche des Ausbruchskörpers eines Einzeldübels auf der seitlichen Betonoberfläche ohne Einfluss von Rändern heißt $A_{c,H}^0$ und wird gemäß Formel (5.8d) als Grundfläche einer halben Pyramide angenommen. Die vorhandene Fläche des Ausbruchskörpers der Verankerung auf der seitlichen Betonoberfläche $A_{c,H}$ ist das Produkt aus der verfügbaren Distanz in Längsrichtung l_{laengs} und der verfügbaren Höhe h . Die verfügbare Länge ergibt sich aus dem Minimum aus $3 \cdot c_1$ und dem entsprechenden Setzabstand s_1 bzw. s_2 ; die verfügbare Höhe ist das Minimum von $1.50 \cdot c_1$ und der Höhe an der Tragwerksaußenseite. Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels im Beton $H_{Rk,c}^0$ berechnet sich gemäß Formel (5.8a). Für den Faktor k_1 ist der Wert 1,70 fix implementiert, da das Programm nur für die Bemessung im gerissenen Beton ausgelegt ist. Die Beiwerte α und β werden gemäß der Formeln (5.8b) und (5.8c) berechnet.

Der charakteristische Widerstand eines Dübels im Beton $H_{Rk,c}$ wird gemäß Formel (5.8) berechnet. Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Mc} führt zum Bemessungswert des Widerstandes eines Dübels im Beton $H_{Rd,c}$. Der Auslastungsgrad $\beta_{H,c}$ ergibt sich durch die Division von $H_{Rd,c}$ mit dem Bemessungswert der Einwirkungen $H_{Rk,c}$.

2.4.3.8 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Bei gleichzeitiger Einwirkung von Normalkraft und Querkraft muss die Interaktionsbedingung gemäß Formel (5.10) eingehalten werden. Der Beiwert α wird dabei auf 2,00 gesetzt, wenn für Horizontalkraft und Normalkraft der Nachweis gegen Stahlversagen maßgebend ist. In allen anderen Fällen wird α auf 1,50 gesetzt. Sämtliche Berechnungsschritte sind für alle Lastfälle programmiert. Die Auswertung der Interaktionsformel liefert die maximale Auslastung sowie daraus den maßgebenden Lastfall. Das Ausgabeblatt listet für jede Reihe nur den maßgebenden Lastfall. Für den LF2 besteht die Möglichkeit die Teilsicherheitsbeiwerte abzumindern. Dies passiert durch die Auswahlmöglichkeit im Tabellenblatt **Eingabe** im Bereich „Teilsicherheitsbeiwerte Materialeseite“.

2.4.4 Rechenkern – BAD HVZ HCR und HRB TZ HCR im Randbalken

In diesem Tabellenblatt sind sämtliche erforderlichen Nachweise der Dübelssysteme BAD HVZ HCR sowie HRB TZ HCR auf der Randbalkenseite untergebracht. Die Nachweise erfolgen gemäß der Richtlinie „Konstruktive Stahleinbauteile in Beton und Stahlbeton“ des ÖVBB [3], im Folgenden vereinfachend ÖVBB-RL genannt. Im obersten Bereich des Tabellenblattes werden alle für die Nachweise benötigten Daten aus den anderen Tabellenblättern übertragen. Farbige gestaltete Zellen ermöglichen eine rasche Zuordnung der Datenherkunft. Das Tabellenblatt heißt programmintern **Kern4**, daher beginnen sämtliche Zellnamen, die sich auf dieses Blatt beziehen, mit dem Präfix **rK4**. Zuerst erfolgen die Nachweise für alle Lastfälle. Abschließend listet das Programm den maßgebenden Lastfall. Die Nachweise sind für die Fälle „eine Dübelreihe“ und „zwei Dübelreihen“ jeweils gesondert geführt. Da für einbetonierte Gewindestangen mit aufgesetzter Mutter keine eigenen Bemessungsvorschriften existieren, werden Gewindestangen gemäß Vorschriften für Kopfbolzendübel berechnet.

2.4.4.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Der Nachweis gegen Stahlversagen des Dübels erfolgt gemäß ÖVBB-RL analog zu den Nachweisen in Abschnitt 2.4.2.1 bzw. Abschnitt 2.4.3.1. Der Auslastungsgrad gegen Stahlversagen ist $\beta_{N,s}$.

2.4.4.2 Zentrischer Zug – Herausziehen

Dieser Nachweis wird gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.4.3 geführt. Das Programm ist nur für Berechnungen in gerissenem Beton ausgelegt: $\psi_{ucr,N} = 1,00$. Als Aufstandsfläche des Kopfbolzens A_h dient die Grundfläche der jeweiligen Schraubmutter: ein Sechseck mit der entsprechenden Größe minus dem innenliegenden Kreis. Das Tabellenblatt `Dat_Dübel` hat diese Flächen in der Spalte A_{Mutter} hinterlegt. Die Berechnung der Pressung unter der Mutter p_{uk} erfolgt gemäß ÖVBB-RL Formel (5.6) wobei die Würfeldruckfestigkeit $f_{ck,cube}$ aus dem Tabellenblatt `Dat_Betone` entstammt. Der charakteristische Widerstand gegen Herausziehen $N_{Rk,p}$ wird mit Formel (5.5) berechnet. Der Bemessungswert des Widerstandes ergibt sich mittels des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Mp} und der Ausnutzungsgrad β_p danach durch die Division von Einwirkung durch Widerstand.

2.4.4.3 Zentrischer Zug – Betonausbruch

Dieser Nachweis erfolgt gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.4.4. Folgende Faktoren sind dazu notwendig:

- $\psi_{ucr,N}$ ist fix mit 1,00 implementiert, da das Programm nur für Berechnungen in gerissenem Beton ausgelegt ist.
- $\psi_{ec,N}$ ist ein Gruppenfaktor und ebenfalls fix mit 1,00 implementiert, da das Programm jeden Dübel als Einzeldübel betrachtet.
- $\psi_{re,N}$ berechnet sich abhängig von der Verankerungslänge h_{ef} gemäß Formel (5.3d).
- $\psi_{s,N}$ ist ein Faktor zur Erfassung der Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes im Beton durch Bauteilränder. Der Randabstand c ist dabei der jeweils kleinste Randabstand des Dübels.

Die idealisierte Fläche des Betonausbruchskörpers $A_{c,N}^0$ berechnet sich zu $9 \cdot h_{ef}^2$. Für die Berechnung der tatsächlich vorhandenen Fläche des Ausbruchskörpers $A_{c,N}$ enthält die gegenständliche Richtlinie keine Angaben, daher wird analog zu den Angaben des TR 029 [2] vorgegangen. Die vorhandene Länge in Brückenlängsrichtung ergibt sich aus dem Minimum von $3 \cdot h_{ef}$ und dem Setzabstand s_1 bzw. s_2 . Die Abmessung des Ausbruchskörpers in Brückenquerrichtung wird entsprechend der betrachteten Dübelreihe durch den Randbalkenrand, die Abmessung $1.50 \cdot h_{ef}$ und dem Abstand der Dübelreihen begrenzt. Der Abstand zwischen den Dübelreihen ist dabei jeder Reihe zur Hälfte zugewiesen. Zwischenräume zwischen Ausbruchflächen einer Dübelreihe in Längsrichtung werden dabei auf der sicheren Seite vernachlässigt.

Formel (5.3a) aus TR029 liefert den Wert $N_{Rk,c}^0$. Dabei ist der Faktor k_1 im Programm mit 7,2 implementiert (Anwendungen in gerissenem Beton), da das Programm nur Berechnungen im gerissenen Beton durchführt.

Der charakteristische Widerstand gegen Betonausbruch $N_{Rk,p}$ wird gemäß Formel (5.8) berechnet und danach mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} in den Bemessungswert übergeführt. Somit lässt sich mit dem Bemessungswert der Einwirkung N_{Sd} der Auslastungsgrad β_c berechnen.

2.4.4.4 Zentrischer Zug – Spaltbruch

Der Nachweis erfolgt gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.4.5. Die Beiwerte $\psi_{ucr,N}$, $\psi_{re,N}$, $\psi_{ec,N}$ und $\psi_{s,N}$ sowie die theoretische und tatsächliche Ausbruchsfläche werden gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.4.4 berechnet. Hierbei ersetzen $s_{cr,sp}$ und $c_{cr,sp}$ die Werte $s_{cr,N}$ und $c_{cr,N}$. Der Faktor $\psi_{h,sp}$ wird gemäß Formel (5.15) berechnet. Division durch den Teilsicherheitsfaktor γ_{Msp} ergibt den Bemessungswert des Widerstandes gegen Spaltbruch $N_{Rd,sp}$. Abschließend berechnet das Programm den Auslastungsgrad $\beta_{N,sp}$ durch die Division von Einwirkung durch Widerstand.

2.4.4.5 Zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch

Dieser Nachweis wird gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.4.6 geführt. Der Nachweis ist nur zu führen, wenn der Randabstand $c \leq 0.50 \cdot h_{ef}$. Andernfalls ist der Auslastungsgrad $\beta_{N,cb}$ auf 0,00 gesetzt.

Die Ausgabe der Beiwerte erfolgt wieder wie bei einer manuellen Berechnung:

- $\psi_{ucr,N}$ ist fix mit 1,00 implementiert, da das Programm nur für Nachweise im gerissenen Beton ausgelegt ist.
- $\psi_{s,Nb}$ berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes im Beton durch die Bauteilränder. Dieser Faktor wird gemäß Formel (5.18) berechnet.
- $\psi_{ec,Nb}$ berücksichtigt die Auswirkungen auf eine Bolzengruppe. Dieser Wert ist fix mit 1,00 implementiert, da jeder Dübel als Einzelbolzen betrachtet wird.
- $\psi_{g,Nb}$ berücksichtigt die Lastfläche eines Bolzens einer Bolzengruppe. Dieser Wert ist ebenfalls fix mit 1,00 implementiert.

Die idealisierte Fläche des Betonausbruchskörpers $A_{c,Nb}^0$ ergibt sich zu $9 \cdot h_{ef}^2$. Der charakteristische Widerstand eines Einzelbolzens mit großen Achs- und Randabständen $N_{Rk,cb}^0$ wird gemäß Formel (5.17) berechnet. Der charakteristische Wert $N_{Rk,cb}$ ergibt sich gemäß ÖVBB-RL Formel (5.16). Mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} und dem Bemessungswert der Einwirkung N_{Sd} berechnet sich dann der Auslastungsgrad $\beta_{N,cb}$.

2.4.4.6 Querkraft – Stahlversagen ohne Hebelsarm

Das Tabellenblatt `Dat_Dübel` liefert den für diesen Nachweis erforderlichen charakteristischen Widerstand eines Einzeldübel auf Querkraft $H_{Rk,s}$ entsprechend der ausgewählten Dübelabmessungen. Mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mc} erfolgt die Umrechnung auf den Bemessungswert des Widerstandes. Der Auslastungsgrad ist $\beta_{H,s}$.

2.4.4.7 Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)

Der Nachweis erfolgt gemäß Abschnitt 5.1.2.5.3 der ÖVBB-Richtlinie. Der Faktor k_4 in Formel (5.24) ist dabei mit 2,00 fix implementiert. Der Wert $N_{Rk,c}$ wird vom Nachweis gegen Betonausbruch (Kapitel 2.4.4.3) übernommen. Der Bemessungswert des Widerstandes $H_{Rd,cp}$ ergibt sich unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Mc} . Der Auslastungsgrad für den Nachweis gegen Pryout $\beta_{H,cp}$ ergibt sich aus dem Vergleich mit H_{Sd} .

2.4.4.8 Querkraft – Betonkantenbruch

Dieser Nachweis wird nach ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.5.4 geführt. Die Richtlinie verweist dabei auf das Bemessungsverfahren A des ETAG Annex C [1]. Folgende Beiwerte sind zu berücksichtigen:

- $\psi_{ucr,N}$ ist fix mit 1,00 implementiert, da das Programm nur Nachweise in gerissem Beton führen kann.
- $\psi_{ec,V}$ berücksichtigt den Effekt, wenn auf die einzelnen Anker einer Gruppe unterschiedliche Querkräfte wirken. Dieser Faktor ist ebenfalls fix mit 1,00 programmiert, da jeder Dübel als Einzeldübel betrachtet wird.
- $\psi_{\alpha,V}$ hängt vom Winkel zwischen der Richtung des Lastangriffes und der Senkrechten auf die Betonkante ab. Dieser Wert ist ebenfalls fix mit 1,00 programmiert.
- $\psi_{h,V}$ berücksichtigt die Dicke des Bauteils. Der Faktor wird gemäß Formel (5.33) berechnet.
- $\psi_{s,V}$ erfasst die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustandes im Beton durch Bauteilränder. Der Faktor ist fix mit 1,00 programmiert, da kein zweiter Bauteilrand betrachtet wird.

Die ideale Fläche des Betonausbruchskörpers $A_{c,H}^0$ berechnet sich gemäß der ÖVBB-Richtlinie nach den Vorschriften in ETAG Annex C Abschnitt 5.2.3.4 Formel (5.7b) [1] zu $A_{c,H}^0 = 4,50 \cdot c_1^2$. Dies entspricht der halben Grundfläche einer gleichseitigen Pyramide. Die Berechnung der tatsächlich vorhandenen Fläche des Ausbruchskörpers $A_{c,H}$ erfolgt analog zu Kapitel 2.4.3.7. Der charakteristische Widerstand eines Einzelbolzens senkrecht zur Kante $H_{Rk,c}^0$ wird gemäß ÖVBB-RL Formel (5.26) berechnet. Die Beiwerte α und β ergeben sich dabei nach Formel (5.28) sowie (5.29), der charakteristische Widerstand $H_{Rk,c}$ gegen die Versagensart Betonkantenbruch nach Formel (5.25). Durch Division durch den Teilsicherheitswert γ_{Mc} wird der Bemessungswert des Widerstandes $H_{Rd,c}$ errechnet. Der Auslastungsgrad $\beta_{H,c}$ ergibt sich aus der Division von Einwirkung durch Widerstand.

2.4.4.9 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Die Interaktion wird gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.6.2 geführt. Die Interaktionsbedingung lautet analog zu ETAG Annex C [1]: $\beta_N^\alpha + \beta_H^\alpha \leq 1,00$. Wenn für Vertikal- und Horizontalbelastung Stahlversagen maßgebend ist, gilt $\alpha = 2,00$. Für alle anderen Fälle gilt $\alpha = 1,50$.

Sämtliche Berechnungsschritte bis hierher werden für alle Lastfälle durchgeführt. Das Programm ermittelt nun die maximale Auslastung der Dübelreihe gemäß der Interaktionsformel und daraus den maßgebenden Lastfall. Im Ausgabetablenblatt wird für jede Reihe nur der maßgebende Lastfall ausgegeben.

Kapitel 3

Berechnungsbeispiel BAD HVZ HCR

Dieses Kapitel führt durch die Berechnung eines realitätsnahen Beispiels für das Dübelssystem BAD HVZ HCR nach ETAG Annex C [1] und ÖVBB-Richtlinie [3] sowie unter Zuhilfenahme der Software HILTI RANDBALKEN. Zum einfacheren Verständnis sind alle Berechnungsschritte inklusive der normgemäßen Formeln angeschrieben, ausgewertet und gegebenenfalls durch zusätzliche Skizzen erläutert. Begleitend werden die entsprechenden Abbildungen aus den Berechnungsblättern des Programms gezeigt. Ein vollständiger Programmausdruck ist in Anhang A zu sehen.

Abbildung 3.1 zeigt das gewählte Beispiel mit sämtlichen Abmessungen. Der Randbalken ist mit einer Dübelreihe am Tragwerk befestigt. Es ist kein Rückhaltesystem, jedoch eine Lärmschutzwand vorhanden.

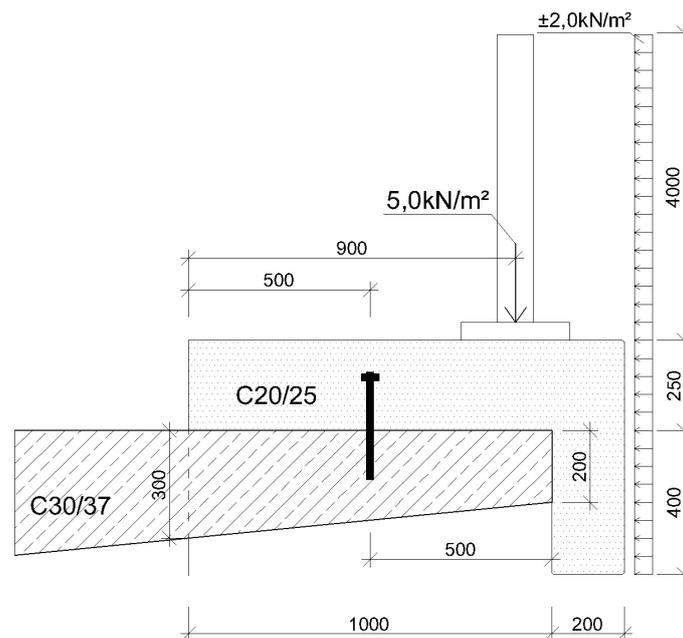


Abbildung 3.1: Beispiel BAD HVZ HCR: Querschnitt

3.1 Angabewerte für das Berechnungsbeispiel BAD HVZ HCR

3.1.1 Generelle Einstellungen

Im obersten Bereich des Tabellenblattes **Eingabe** werden die grundlegenden Einstellungen getroffen. Abbildung 3.2 zeigt die für dieses Beispiel zu wählenden Einstellungen:

- Dübelsystem: BAD HVZ HCR
- Dübelabmessungen: M16x105/300
- Dübelreihen: eine
- Rückhaltesystem: kein Rückhaltesystem vorhanden
- Lärmschutzwand: vorhanden
- Tragwerk:
 - Betongüte: C30/37
 - Bewehrungssituation: gesonderter Nachweis für Querkraftübertragung
- Randbalken
 - Betongüte: C20/25
 - Bewehrungssituation: Rand- u. engmaschige Aufhängebewehrung $a \leq 100$ mm.

The screenshot shows the HILTI Engineering software interface for 'Hilti Randbalken Version 1.0.3'. The interface is divided into two main sections: **TRAGWERK** (Structure) and **RANDBALKEN** (Edge Beam). The **TRAGWERK** section includes settings for **BETONGÜTE** (C30/37) and **BEWEHRUNG** (gesonderter Nachweis für Querkraftübertragung). The **RANDBALKEN** section includes settings for **BETONGÜTE** (C20/25) and **BEWEHRUNG** (Rand- u. engmaschige Aufhängebewehrung (a≤100 mm)). The top section contains five tabs: **DÜBELSYSTEM** (BAD HVZ HCR), **DÜBELABMESSUNGEN** (M16 x 105/300), **DÜBELREIHEN** (eine Dübelreihe), **RÜCKHALTESYSTEM** (- kein Rückhaltesystem -), and **LÄRMSCHUTZWAND** (LSW vorhanden).

Abbildung 3.2: Beispiel BAD HVZ HCR – Eingabe: generelle Einstellungen

Die Einstellung der Bewehrungssituation wirkt sich dabei nur auf den Nachweis gegen Betonkantenbruch aus. Ist die Option „gesonderter Nachweis für Querkraftübertragung“ ausgewählt, so wird der Nachweis gegen Betonkantenbruch nicht geführt.

3.1.2 Geometrische Einstellungen

Danach folgt die Eingabe der Geometriedaten, welche in Abbildung 3.1 ersichtlich sind. Zusammengefasst ergeben sich folgende Werte:

- Randbalken:
 - Breite und Höhe des über dem Tragwerk befindlichen Teils,
 $B_{RB,PL} = 1\,000\text{ mm}$ und $H_{RB,PL} = 250\text{ mm}$
 - Breite und Höhe des auskragenden Teils des Randbalkens,
 $B_{RB,BA} = 200\text{ mm}$ und $H_{RB,BA} = 400\text{ mm}$
- Tragwerk:
 - Höhe am Beginn des Randbalkens, $H_T = 300\text{ mm}$
 - Höhe am Tragwerksende, $H_{T,KR} = 200\text{ mm}$
- Drehpunktsabstand: $d = 10\text{ mm}$

Diese Werte sind in den meisten Bemessungsfällen Fixwerte. Sie sind vom Planer (vor allem bei Sanierungen) meist nicht oder nur mit großem Aufwand beeinflussbar, da das Tragwerk bereits vorhanden ist. Hier kann eventuell die Randbalkengeometrie angepasst werden. Die eigentliche Anpassung der Verbindung erfolgt über die Setzabstände der Dübel (siehe Kapitel 3.1.4).

3.1.3 Eingabe der Belastungen, des Rückhaltesystems und der Lärmschutzwand

Neben einem Rückhaltesystem und der Lärmschutzwand ist es möglich, Belastungen aus ständiger Last (z.B. Abspannungen) zu berücksichtigen. Diese Lasten werden in diesem Beispiel nicht verwendet. Ebenso wird kein Rückhaltesystem berücksichtigt. Eine Lärmschutzwand belastet jedoch den Randbalken und somit die Dübel. Geometrie und Belastung der Lärmschutzwand (LSW) sind wie folgt:

- Geometrie: $H_{LSW} = 4\,000\text{ mm}$, $C_{LSW} = 900\text{ mm}$
- Belastungen: $w_k = 2,00\text{ kN/m}^2$, $g_{LSW} = 5,00\text{ kN/m}$

3.1.4 Eingabe der Verdübelungen

Hier muss zunächst der Randabstand der ersten Dübelreihe C_{RB} eingegeben werden. Der Dübelsetzabstand der ersten Dübelreihe s_1 ist gemeinsam mit den Dübelabmessungen die Variable, mit denen der Planer die Auslastung der Verbindung steuern kann. In diesem Beispiel sind die entsprechenden Werte:

- Randabstand: $C_{RB} = 500\text{ mm}$
- Dübelsetzabstand 1. Reihe: $s_1 = 550\text{ mm}$
- Dübelsetzabstand 2. Reihe: keine 2. Dübelreihe vorhanden

Darunter befindet sich ein Dropdownmenü für die Auswahl der materialeitigen Teilsicherheitsbeiwerte im außergewöhnlichen Lastfall. Diese treten nur bei Vorhandensein eines Rückhaltesystems auf. Somit ist im gegenständlichen Beispiel keine außergewöhnliche Belastung vorhanden; diese Einstellung hat keine Bedeutung.

Im untersten Bereich von Abbildung 3.3 ist bereits zu erkennen, dass die gewählten Parameter zu einer zulässigen Verankerung führen. Da zuvor ein gesonderter Nachweis für Querkraftübertragung gewählt wurde, weist eine Warnmeldung darauf hin, dass der Nachweis gegen Betonkantenbruch deaktiviert ist.

Abbildung 3.3: Beispiel BAD HVZ HCR – Eingabe: Einstellungen der Randbalkengeometrie und Belastung

3.2 Lastaufstellung – Präprozessor

Die Lastaufstellung wird programmintern im Tabellenblatt Basis2 vorgenommen (siehe Kapitel 2.4.1).

3.2.1 Eigengewicht des Randbalkens

Zur Ermittlung des Eigengewichts des Randbalkens wird die Fläche des Randbalkens in Teilquerschnitte zerlegt (Abbildung 2.22, Seite 28). Dies ergibt die Teilgewichte des Randbalkens zu:

$$G_1 = \gamma_{\text{Beton}} \cdot H_{\text{RB,PL}} \cdot (B_{\text{RB,PL}} + B_{\text{RB,BA}}) \quad (3.1)$$

$$= 25,0 \cdot 0,25 \cdot (0,20 + 1,00) = 7,50 \text{ kN/m}$$

$$G_2 = \gamma_{\text{Beton}} \cdot H_{\text{RB,BA}} \cdot B_{\text{RB,BA}} = 25,0 \cdot 0,20 \cdot 0,40 = 2,00 \text{ kN/m} \quad (3.2)$$

Die beiden Schwerpunktsabstände a_{RB1} und a_{RB2} vom Lastangriffspunkt LAP gemessen sind (siehe Abbildung 2.22):

$$\begin{aligned} a_{\text{RB1}} &= (B_{\text{RB,PL}} + B_{\text{RB,BA}}) \cdot 1/2 \\ &= (1,00 + 0,20) \cdot 1/2 = 0,60 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$a_{\text{RB2}} = B_{\text{RB,PL}} + B_{\text{RB,BA}} \cdot 1/2 = 1,10 \text{ m} \quad (3.4)$$

Die charakteristische Last aus dem Randbalken und das Moment um LAP ergeben sich zu:

$$\begin{aligned} M_{\text{Ek}} &= G_1 \cdot a_{\text{RB1}} + G_2 \cdot a_{\text{RB2}} \\ &= 7,50 \cdot 0,60 + 2,00 \cdot 1,10 = 6,70 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$V_{\text{Ek}} = G_1 + G_2 = 7,50 + 2,00 = 9,50 \text{ kN/m} \quad (3.6)$$

Abbildung 3.4 zeigt die berechneten Werte im Programm HILTI RANDBALKEN. Die Werte M_{ed} und V_{ed} dienen während des Programmierprozesses Kontrollzwecken. Die Laufmeterlasten werden im gelb markierten Bereich zusammengefasst und von dort im Programm weiterverwendet.

Lastaufstellung für den Randbalken					
Gewicht RB Platte		G_{RB1}	7,50	[kN/m]	$(\text{brb_pl} + \text{brb_ba}) \cdot \text{hrb_pl} \cdot 24$
Gewicht RB Balken		G_{RB2}	2,00	[kN/m]	$(\text{brb_ba} \cdot \text{HRB_BA}) \cdot 24$
Schwerpunktsabstand RB-Platte von Drehpunkt		a_{RB1}	0,60	[m]	
Schwerpunktsabstand RB-Balken von Drehpunkt		a_{RB2}	1,10	[m]	
Mek aus Eigengewicht		$M_{\text{Ek,EG}}$	6,70	[kNm/m]	
Vek aus Eigengewicht		$V_{\text{Ek,EG}}$	9,50	[kN/m]	
Med aus EG		$M_{\text{Ed,EG}}$	6,70	[kNm/m]	
Ved aus EG		$V_{\text{Ed,EG}}$	9,50	[kN/m]	
Lasten um LAP aus Eigengewicht RB					
H=	0,0 kN/m	V=	9,5 kN/m	M=	6,7 kNm/m

Abbildung 3.4: Beispiel BAD HVZ HCR – Basis2: Ermittlung des Randbalkengewichts

3.2.2 Lasten aus Rückhaltesystem

In diesem Beispiel ist kein Rückhaltesystem vorhanden. Sämtliche Belastungen haben daher den Wert 0,00 (siehe Abbildung 3.5).

Lasten aus Rückhaltesystem					
Umrechnung der Leitsystemeinwirkung auf eine Meterlast, Spannungsspitzen bei den Stehern werden dabei nicht berücksichtigt					
		H_leit	0,00	[kN/m]	H_leit/e_leit
		M_leit	0,00	[kNm/m]	M_leit/e_leit
Lasten um LAP aus Rückhaltesystem					
H=	0,0 kN/m	V=	0,0 kN/m	M=	0,0 kNm/m

Abbildung 3.5: Beispiel BAD HVZ HVR – Basis2: Belastung aus Rückhaltesystem

3.2.3 Lasten aus Lärmschutzwand

Die Berechnung der charakteristischen Belastung aus der Lärmschutzwand erfolgt für ständige (Gewichtslasten) und veränderliche Lasten (Windlast) getrennt. Bei der Windlast unterscheidet das Programm zudem zwischen den Lastfällen „Wind von rechts“ und „Wind von links“. Die Windlast tritt dabei als Gleichlast auf (siehe Abbildung 2.24, Seite 29). Zuerst wird der Lastfall „Wind von rechts“ betrachtet. Mit Windlast belastet sind hierbei die Lärmschutzwand sowie der Randbalken. Die veränderliche Horizontallast aus Wind ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} H_{Wind, rechts} &= (H_{LSW} + H_{RB, PL} + H_{RB, BA}) \cdot w_k \\ &= (4,00 + 0,25 + 0,40) \cdot 2,00 = 9,30 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Der vertikale Hebelsarm zum Lastangriffspunkt LAP ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} \text{Hebelsarm}_{Wind, rechts} &= -H_{RB, BA} - H_{RB, PL} + (H_{RB, BA} + H_{RB, PL} + H_{LSW}) \cdot 1/2 \\ &= -0,40 - 0,25 + (0,40 + 0,25 + 4,00) \cdot 1/2 = 1,68 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Das Belastungsmoment um den Lastangriffspunkt LAP erhält man aus Windlast mal Hebelsarm:

$$\text{Moment}_{Wind, rechts} = 9,30 \cdot 1,675 = 15,58 \text{ kNm/m} \quad (3.9)$$

Für den Lastfall „Wind von links“ erfolgt die Berechnung ähnlich. Hierbei wird nur die Lärmschutzwand von der Windkraft belastet (siehe Abbildung 2.24, Seite 29). Die Horizontallast je Laufmeter beträgt:

$$H_{Wind, links} = H_{LSW} \cdot w_k = 4,00 \cdot (-2,00) = -8,00 \text{ kN/m} \quad (3.10)$$

Der Hebelsarm der Vertikallast um den Lastangriffspunkt LAP berechnet sich zu:

$$\text{Hebelsarm}_{Wind, links} = H_{LSW}/2 = 4,00/2,00 = 2,00 \text{ m} \quad (3.11)$$

Das Belastungsmoment je Laufmeter ergibt sich daher aus Kraft mal Hebelsarm:

$$\text{Moment}_{Wind, links} = -8,00 \cdot 2,00 = -16,00 \text{ kNm/m} \quad (3.12)$$

Lediglich das Eigengewicht der Lärmschutzwand $g_{LSW,k} = 5,00 \text{ kN/m}$ trägt zu den Vertikalkräften aus ständiger Last bei. Das Moment aus ständiger Last ergibt sich zu:

$$\text{Moment}_{LSW, EG} = g_{LSW,k} \cdot C_{LSW} = 5,00 \cdot 0,90 = 4,50 \text{ kNm/m} \quad (3.13)$$

Abbildung 3.6 zeigt im unteren Bereich die Ergebnisse getrennt nach Richtung sowie ständiger und veränderlicher Last.

Lasten aus Lärmschutzwand					
Lärmschutzwand unter Windbelastung, Wind "von rechts"					
Horizontal	Belastung des Randbalkens je Meter Brücke		9,30	[kN/m]	
	Hebelsarm		1,68	[m]	
	Moment aus LSW je Meter Brücke		15,58	[kNm/m]	
Lärmschutzwand unter Windbelastung, Wind "von links"					
Horizontal	Belastung des Randbalkens je Meter Brücke		-8,00	[kN/m]	
	Hebelsarm		2,00	[m]	
	Moment aus LSW je Meter Brücke		-16,00	[kNm/m]	
Vertikal	Eigengewicht der LSW je Meter Brücke		5,00	[kN/m]	
	Moment aus Eigengewicht LSW		4,50	[kNm/m]	
veränderliche Lasten um LAP aus LSW					
	H=	9,3 kN/m	V=	0,0 kN/m	M= 15,6 kNm/m
	H=	-8,0 kN/m	V=	0,0 kN/m	M= -16,0 kNm/m
ständige Lasten um LAP aus LSW					
	H=	0,0 kN/m	V=	5,0 kN/m	M= 4,5 kNm/m

Abbildung 3.6: Beispiel BAD HVZ HCR – Basis2: Belastung aus Lärmschutzwand

3.2.4 Lastfallerzeugung

Die zuvor ermittelten Belastungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten versehen und entsprechend zu Lastfällen überlagert.

Im nächsten Schritt werden die Bemessungslastfälle generiert. Die benutzten Teilsicherheitsfaktoren der Lastfälle sind in den Tabellen 2.3 und 2.4 gelistet. Abbildung 3.7 zeigt die verwendeten Lastfälle samt Teilsicherheitsfaktoren und die dazugehörigen Werte dieses Beispiels.

Lastfall 1, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händische Lasteingabe						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,35	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	5,0 kN/m	4,5 kNm/m	1,00	1,35	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,35	
LF1	0,0 kN/m	19,6 kN/m	15,1 kNm/m			
Lastfall 2, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händisch + Anprall						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,00	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	5,0 kN/m	4,5 kNm/m	1,00	1,00	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,00	
Anpralllasten	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,00	
LF2	0,0 kN/m	14,5 kN/m	11,2 kNm/m			
Lastfall 3, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händisch + Wind von links						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,35	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	5,0 kN/m	4,5 kNm/m	1,00	1,35	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,35	
Windlast "von links"	9,3 kN/m	0,0 kN/m	15,6 kNm/m	1,00	1,50	
LF3	14,0 kN/m	19,6 kN/m	38,5 kNm/m			
Lastfall 4, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händisch + Windlast von rechts						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,35	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	5,0 kN/m	4,5 kNm/m	1,00	1,35	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,35	
Windlast "von rechts"	-8,0 kN/m	0,0 kN/m	-16,0 kNm/m	1,00	1,50	
LF4	-12,0 kN/m	19,6 kN/m	-8,9 kNm/m			

Abbildung 3.7: Beispiel BAD HVZ HCR – Basis2: Lastfallerzeugung

In diesem Tabellenblatt sind auch Eingabefelder für die Kombinationsbeiwerte (ψ -Werte) vorhanden. Diese beinhalten alle den Wert 1,00 und haben daher keinen Einfluss auf das Berechnungsergebnis. Der Benutzer sieht in der Ausgabe nur die verwendeten γ -Werte. Diese Eingabemöglichkeit wurde bewusst beibehalten, um eine etwaige Fehlersuche bei Änderungen in der Programmierung zu beschleunigen. Einem Entwickler ist es dadurch möglich, einzelne Lastfälle „auszuschalten“.

3.2.5 Zerlegung in Dübelkräfte

Dieses Beispiel beinhaltet eine Verankerung mittels einer Dübelreihe. Die Berechnung erfolgt nun für jeden Lastfall einmal mit Drehpunkt rechts und einmal mit Drehpunkt links. Die jeweils größere Dübellast jedes Lastfalls wird in der weiteren Berechnung verwendet. Abbildung 3.8 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für alle 6 Lastfälle. Die Lastfälle 5 und 6 sind Reservelastfälle (derzeit unbenutzt). Der Endnutzer des Programms kann diese Lastfälle nicht verwenden.

Bei rechtsliegendem Drehpunkt ist der Abstand des Kräftepaars N_B und N_D (siehe Abbildung 2.25, Seite 30):

$$r_{Hebel} = C_t - d \cdot 0,40 = 0,50 - 0,01 \cdot 0,40 \approx 0,50 \text{ m} \quad (3.14)$$

Die Normalkraft in der Dübelreihe $N_{D,LF3,r}$ je Laufmeter errechnet sich für LF3 gemäß nachstehender Formel:

$$\begin{aligned} N_{D,LF3,r} &= -(V_{LF3} \cdot (C_T + C_{RB} - 0,40 \cdot d) - H_{LF3} \cdot H_{RB,PL} - M_{LF3}) / r_{Hebel} \\ &= -(19,6 \cdot (0,50 + 0,50 - 0,40 \cdot 0,01) - 14,0 \cdot 0,25 - 38,5) / 0,50 \\ &= -45,32 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Nach Ermittlung der Anzahl der Dübel je Laufmeter Randbalken können die Dübelnormalkraft und die Dübelhorizontalkraft berechnet werden:

$$\text{Anzahl} = 1/s_1 = 1/0,55 = 1,82 \text{ Stk./m} \quad (3.16)$$

$$N_D = -45,32/1,82 = -24,92 \text{ kN/Stk.} \quad (3.17)$$

$$H_D = 14,0/1,82 = 7,67 \text{ kN/Stk.} \quad (3.18)$$

Bei linksliegendem Drehpunkt ist der Abstand des Kräftepaars wie folgt:

$$r_{Hebel} = C_{RB} - d \cdot 0,40 = 0,50 - 0,01 \cdot 0,40 \approx 0,50 \text{ m} \quad (3.19)$$

Die Normalkräfte in der Dübelreihe je Laufmeter errechnen sich für LF3 gemäß nachstehender Formel:

$$\begin{aligned} N_{D,LF3,l} &= -(M_{LF3} + H_{LF3} \cdot H_{RB,PL} - V_{LF3} \cdot 0,4 \cdot d) / r_{Hebel} = \\ &= -(38,5 + 14,0 \cdot 0,25 - 19,6 \cdot 0,4 \cdot 0,01) / 0,50 \\ &= -84,47 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Die Anzahl der Dübel je Laufmeter Randbalken ist von der Lage des Drehpunktes unabhängig und daher ident. Es ergibt sich eine Normalkraft je Dübel von:

$$N_D = -84,47/1,82 = -46,46 \text{ kN/Stk.} \quad (3.21)$$

Die Horizontalkraft für den LF3 ist ident (siehe (3.18)). Abbildung 3.8 zeigt im gelben Rahmen am unteren Rand die maximalen Dübellasten. Dies geschieht über eine einfache max()-Funktion. Die jeweils maßgebende Drehpunktlage wird zur besseren Übersichtlichkeit für jeden Lastfall nochmals angeschrieben.

eine Dübelreihe							
Umrechnung der Lasten vom Drehpunkt, auf eine Dübelreihenbelastung je Laufmeter, DREHPUNKT rechts							
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Abstand des Kräftepaars	r _{HEBEL}	0,50					[m]
Dübelkraft je Meter Randbalken		-8,82	-6,54	45,32	-63,26	0,00	0,00 [kNm/m]
Anzahl der Dübel je Laufmeter Brücke		1,8 Stk./m					
Schnittstelle, Belastung für Einzeldübel, Drehpunkt rechts in kN/Dübel							
Horizontalkraft je Dübel	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
Normalkraft je Dübel	N _D	-4,85	-3,59	24,92	-34,79	0,00	0,00 [kN]
Umrechnung der Lasten vom Drehpunkt, auf eine Dübelreihenbelastung je Laufmeter, DREHPUNKT links							
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Abstand des Kräftepaars	r _{HEBEL}	0,50					[m]
Dübelkraft je Meter Randbalken		-30,33	-22,46	-84,47	24,11	0,00	0,00 [kNm/m]
Anzahl der Dübel je Laufmeter Brücke		1,8 Stk./m					
Schnittstelle, Belastung für Einzeldübel, Drehpunkt links in kN/Dübel							
Horizontalkraft je Dübel	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
Normalkraft je Dübel, aus Moment/Hebelsarm "+"	N _D	-16,68	-12,36	-46,46	13,26	0,00	0,00 [kN]
Bemessungslast für einen Dübel in kN, bei EINER Dübelreihe							
relevante Lage des Drehpunktes		rechts	rechts	rechts	links	links	links
Dübelhorizontalkraft für Bemessung	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
Dübelnormalkraft für Bemessung	N	-4,85	-3,59	24,92	13,26	0,00	0,00 [kN]

Abbildung 3.8: Beispiel BAD HVZ HCR – Basis2: Zerlegung in Dübellasten

3.2.6 Bereitstellung der Dübelkräfte für die anderen Tabellenblätter

Die maßgebenden Dübellasten jedes Lastfalls werden am Ende des Tabellenblatts Basis2 für die weiteren Nachweise bereitgestellt (siehe Abbildung 3.9 im unteren gelb markierten Bereich).

Overridemöglichkeit für Hilti-interne Eingabe von beliebigen Laufmeterlasten auf die Dübelreihe 1 und 2							
hier können beliebige Lasten je Meter Verankerung eingegeben werden. Automatische umrechnung auf Last je Dübel.							
Lastgenerierung überschreiben:		Lasterzeugung des Programms benutzen (Funktion wie beim Kunden) <input type="checkbox"/>					
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
REIHE I	H [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REIHE II	H [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N [kN/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zusammenfassung der Dübelbemessungslasten für Übertrag in die Bemessungsblätter (Kern2, Kern3 und Kern4)							
	einreihig	LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
REIHE I	H	0,00	0,00	7,67	-6,60	0,00	0,00 [kN]
	N	0,00	0,00	24,92	13,26	0,00	0,00 [kN]
REIHE II	H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 [kN]
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 [kN]

Abbildung 3.9: Beispiel BAD HVZ HCR – Basis2: Zusammenfassung der maßgebenden Dübelkräfte

Darüber befindet sich der Bereich für die manuelle Dübelkraftüberschreibung, welche in roter Farbe markiert ist (siehe auch Abschnitt 2.4.1.5 auf Seite 32). Da dieses Tabellenblatt für normale Benutzer gesperrt ist kann diese Funktionalität nur von Hilti-Mitarbeitern benutzt werden.

3.3 Nachweise Dübel – Tragwerk

Das Tabellenblatt Kern2 beinhaltet diese Nachweise (siehe Kapitel 2.4.2). Alle erforderlichen Nachweise werden exemplarisch für einen Lastfall beschrieben (LF3 mit $N_{Sd} = 24,92$ kN und $H_{Sd} = 7,67$ kN). Die zugehörigen Programmberechnungen sind in entsprechenden Abbildungen beigefügt. Die Berechnung der anderen Lastfälle erfolgt analog. Das zu Grunde liegende Normenwerk ist ETAG Annex C „Bemessungsverfahren für Verankerungen“ [1]. Es kommt das Bemessungsverfahren A zum Einsatz. Das Programm rechnet intern in den normgemäßen Einheiten [N] und [mm].

3.3.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Die zulässige Zugkraft wird aus dem Tabellenblatt Dat_Dübel entnommen (hier: $N_{Rk,s} = 90,00$ kN). Der Bemessungswert des Widerstandes ergibt sich mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ms} zu:

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 90,00 / 1,50 = 60,00 \text{ kN} \quad (3.22)$$

Die Einwirkung im LF3 beträgt $N_{Sd} = 24,92$ kN. Der Auslastungsgrad für diesen Nachweis ist daher:

$$\beta_{N,s} = N_{Rd,s} / N_{Sd} = 24,92 / 60,00 = 0,42 \quad (3.23)$$

Abbildung 3.10 zeigt die vom Programm HILTI RANDBALKEN berechneten Werte.

Nachweise - zentrischer Zug				EINREIHIG					
				Dübelreihe 1					
NACHWEIS GEGEN STAHLVERSAGEN				LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Zulässige Zugkraft aus ETA		$N_{Rk,s}$		90000					
Teilsicherheitsbeiwert aus ETA		γ_{Ms}		1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50
Bem. Wert des Widerstandes		$N_{Rd,s}$		60000	90000	60000	60000	60000	60000
Bem. Wert der Einwirkung		N_{Sd}		0	0	24924	13260	0	0
Auslastungsgrad		$\beta_{N,s}$		0,00	0,00	0,42	0,22	0,00	0,00

Abbildung 3.10: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung zentrischer Zug – Stahlversagen

3.3.2 Zentrischer Zug – Herausziehen

Dieser Nachweis ist aufgrund der Bestimmungen in der Dübelzulassung (ETA-03/0032) nicht maßgebend und wird daher nicht geführt.

3.3.3 Zentrischer Zug – Betonausbruch

Zuerst werden sämtliche Beiwerte berechnet. Diese sind lastfallunabhängig und werden daher nur einmal berechnet. Abbildung 3.11 zeigt im oberen Bereich die im Programm berechneten Beiwerte. Ab der Zeile für den Sicherheitsfaktor werden die Lastfälle getrennt betrachtet.

- $\psi_{ucr,N} = 1,00$, da die Berechnung für gerissenen Beton erfolgt
- $\psi_{ec,N} = 1,00$, da ein Einzeldübel betrachtet wird
- $\psi_{re,N} = \min(1,00; 0,5 + h_{ef}/200) = \min(1,00; 0,5 + 105/200) = 1,00$
- $\psi_{s,N} = \min(1,00; 0,3 \cdot C_T/c_{cr,N}) = \min(1,00; 0,3 \cdot 500/157,5) = 1,00$

Die Werte $c_{cr,N} = 157,5$ mm sowie $s_{cr,N} = 315$ mm entstammen der Dübelzulassung. Das Programm entnimmt diese Werte aus dem Datenblatt `Dat_Dübel`. Die maximale Ausbruchsfläche ergibt sich zu:

$$A_{c,N}^0 = (s_{cr,N})^2 = 0,315^2 = 0,0992 \text{ m}^2 \quad (3.24)$$

Die Länge der tatsächlich verfügbaren Ausbruchsfläche ist:

$$\text{Länge} = \min(s_{cr,N}; s_1) = \min(0,315; 0,550) = 0,315 \text{ m} \quad (3.25)$$

Die Breite der tatsächlich verfügbaren Ausbruchsfläche ist:

$$\text{Breite} = \min(s_{cr,N}/2; C_T) + s_{cr,N}/2 = \min(0,315/2; 0,500) + 0,1575 = 0,315 \text{ m} \quad (3.26)$$

Die tatsächliche Ausbruchsfläche ergibt sich somit zu

$$A_{c,N} = 0,315^2 = 0,0992 \text{ m}^2 \quad (3.27)$$

Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes $N_{Rk,c}^0$ errechnet sich mit der Würfeldruckfestigkeit $f_{ck,cube} = 37 \text{ N/mm}^2$ zu:

$$N_{Rk,c}^0 = 7,2 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}/1000 = 7,2 \cdot \sqrt{37} \cdot 105^{1,5}/1000 = 47,12 \text{ kN} \quad (3.28)$$

Der charakteristische Widerstand gegen Betonausbruch $N_{Rk,c}$ wird wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} N_{Rk,c} &= N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ucr,N} \\ &= 47,12 \cdot \frac{0,0992}{0,0992} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 47,12 \text{ kN} \end{aligned} \quad (3.29)$$

Der Auslastungsgrad für LF3 beträgt:

$$\beta_{N,c} = \frac{N_{sd}}{N_{Rd,c}/\gamma_{Mc}} = \frac{24,92}{47,12/1,50} = 0,79 \quad (3.30)$$

NACHWEIS GEGEN BETONAUSTRUCH			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Psi-Wert, Lage	$\psi_{ucr,N}$	1,00						
Psi-Wert, Gruppenfaktor	$\psi_{ec,N}$	1,00						
Psi-Wert, Schalenabplatzfaktor	$\psi_{re,N}$	1,00						
Psi-Wert, störung des SPZ	$\psi_{s,N}$	1,000						
maximale Fläche der Ausbruchsfläche	$A_{c,N}^0$	99225						
vorhandene Fläche der Ausbruchsfläche	$A_{c,N}$	99225						
verfügbare Länge (in Brückenlängsrichtung)		315						
verfügbare Breite (in Breitenrichtung der Brücke)		315						
Ausgangswert des char. Widerstandes	$N_{Rk,c}^0$	47121						
char. Widerstand bei Betonausbruch	$N_{Rk,c}$	47121						
Sicherheitsfaktor	γ_{Mc}	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Bem. Wert des Widerstandes bei Betonausbruch	$N_{Rd,c}$	31414	39268	31414	31414	31414	31414	31414
	N_{sd}	0	0	24924	13260	0	0	0
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,79	0,42	0,00	0,00	0,00

Abbildung 3.11: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung zentrischer Zug – Betonausbruch

3.3.4 Zentrischer Zug – Spalten bei Belastung

Zuerst ist die Ermittlung aller Beiwerte erforderlich:

- $\psi_{ucr,Sp} = 1,00$
- $\psi_{ec,Sp} = 1,00$
- $\psi_{re,Sp} = \min(1,00; 0,5 + h_{ef}/200) = \min(1,00; 0,5 + 105/200) = 1,00$
- $\psi_{s,Sp} = \min\left(1,00; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{C_T}{c_{cr,sp}}\right) = \min\left(1,00; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{500}{157,5}\right) = 1,00$
- $\psi_{h,Sp} = \min\left(1,00; (H_T/h_{min})^{2/3}\right) = \min\left(1,50; (250/210)^{2/3}\right) = 1,123$

Die maximale Ausbruchsfläche ergibt sich zu:

$$A_{c,Sp}^0 = (s_{cr,Sp})^2 = 0,315^2 = 0,0992 \text{ m}^2 \quad (3.31)$$

Die Länge der tatsächlichen Ausbruchsfläche ist:

$$\text{Länge} = \min(s_{cr,Sp}; s_1) = \min(0,315; 0,550) = 0,315 \text{ m} \quad (3.32)$$

Die Breite der tatsächlichen Ausbruchsfläche ist:

$$\begin{aligned} \text{Breite} &= \min(s_{cr,Sp}/2; C_T/2) + s_{cr,Sp}/2 \\ &= \min(0,315/2; 0,500/2) + 0,315/2 = 0,315 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.33)$$

Die Größe der vorhandenen Ausbruchsfläche beträgt somit:

$$A_{c,Sp} = 0,315 \cdot 0,315 = 0,0992 \text{ m}^2 \quad (3.34)$$

Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels ergibt sich zu:

$$N_{Rk,c}^0 = 7,2 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} / 1000 = 7,2 \cdot \sqrt{37} \cdot 105^{1,5} / 1000 = 47,12 \text{ kN} \quad (3.35)$$

Der charakteristische Widerstand gegen Spaltbruch $N_{Rk,Sp}$ kann daher ermittelt werden:

$$\begin{aligned}
 N_{Rk,Sp} &= N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ucr,N} \cdot \psi_{h,Sp} \\
 &= 47,12 \cdot \frac{0,0992}{0,0992} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,123 = 52,93 \text{ kN} \quad (3.36)
 \end{aligned}$$

Damit ist der Auslastungsgrad:

$$\beta_{N,Sp} = \frac{N_{Sd}}{N_{Rk,Sp}/1,50} = \frac{24,92}{52,93/1,50} = 0,71 \quad (3.37)$$

Abbildung 3.12 zeigt die soeben beschriebene Bemessung in der Programmansicht.

Versagen durch Spalten bei Belastung		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Psi-Wert, Lage	$\psi_{ucr,Sp}$	1,00					
Psi-Wert, Gruppenfaktor	$\psi_{ec,Sp}$	1,00					
Psi-Wert, Schalenabplatzfaktor	$\psi_{re,Sp}$	1,00					
Psi-Wert, störung des SPZ	$\psi_{s,Sp}$	1,000					
Faktor der tatsächlichen Bauteildicke	$\psi_{h,Sp}$	1,123					
maximale Fläche der Ausbruchsfläche	$A_{c,Sp}^0$	99225					
vorhandene Fläche der Ausbruchsfläche	$A_{c,Sp}$	99225					
verfügbare Länge (in Brückenlängsrichtung)		315					
verfügbare Breite (in Brückenquerrichtung)		315					
	$N_{Rk,Sp}^0$	47121					
Widerstand gegen Spalten	$N_{Rk,Sp}$	52929					
Sicherheitsfaktor	$\gamma_{Mc,sp}$	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50
Bem. Wert des Widerstandes bei Betonausbruch	$N_{Rd,sp}$	35286	44108	35286	35286	35286	35286
	N_{Sd}	0	0	24924	13260	0	0
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,71	0,38	0,00	0,00

Abbildung 3.12: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung zentrischer Zug – Spalten bei Belastung

3.3.5 Querkraft – Stahlversagen

Für diesen Nachweis wird der Querkraftsnachweis ohne Hebelsarm verwendet (siehe Abschnitt 2.4.2.5, Seite 36). Die Dübelzulassung liefert den charakteristischen Widerstand gegen Stahlversagen ohne Hebelsarm. Der Auslastungsgrad für den LF3 wird wie folgt berechnet:

$$\beta_{V,s} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rk,s}/1,25} = \frac{7,67}{56,00/1,25} = 0,17 \quad (3.38)$$

In Abbildung 3.13 ist die entsprechende Berechnung im Tabellenblatt Kern2 dargestellt.

3.3.6 Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)

Der Faktor k wird aus der entsprechenden Dübelzulassung entnommen. Der charakteristische Widerstand gegen Pryout ergibt sich zu:

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c} = 2,00 \cdot 47,12 = 94,24 \text{ kN} \quad (3.39)$$

Nachweise für Querkraftbeanspruchung ohne Hebelarm			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
NACHWEIS GEGEN STAHLVERSAGEN								
Widerstand aus ETA	$V_{Rk,s}$		56000					
Sicherheitsfaktor	$\gamma_{Rk,s}$		1,25	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25
Bem. Wert des Widerstandes des Stahls auf Querbe	$V_{Rd,s}$		44800	56000	44800	44800	44800	44800
	V_{Sd}		0	0	7673	-6600	0	0
Auslastungsgrad			0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00

Abbildung 3.13: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung Querkraft – Stahlversagen

Somit lässt sich der Auslastungsgrad $\beta_{H,cp}$ berechnen:

$$\beta_{V,cp} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rk,cp}/\gamma_{Mcp}} = \frac{7,67}{94,24/1,50} = 0,12 \quad (3.40)$$

In Abbildung 3.14 ist die Programmansicht dieses Bemessungsablaufes dargestellt. In der Abbildung steht V für die Beanspruchung in Querkraftrichtung, der lokalen Beanspruchung des Dübels. Global gesehen ist dies eine Beanspruchung durch eine Horizontalkraft. In der Druckausgabe wird daher stets der Buchstabe H verwendet.

NACHWEIS BETONAUSBRUCH (PRYOUT)			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Widerstand gegen Spalten	$N_{Rk,c}$		47121					
Faktor für Dübel	k		2					
Widerstand gegen Pryout	$V_{Rk,cp}$		94243					
Sicherheitsfaktor	γ_{Mcp}		1,50	1,35	1,50	1,50	1,50	1,50
Bem. Wert des Widerstandes gegen Pryout	$V_{Rd,s}$		62828	69809	62828	62828	62828	62828
	V_{Sd}		0	0	7673	-6600	0	0
Auslastungsgrad			0,00	0,00	0,12	0,11	0,00	0,00

Abbildung 3.14: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung Querkraft – Pryout

3.3.7 Querkraft – Betonkantenbruch

Zunächst werden sämtliche Beiwerte (ψ -Werte) berechnet:

- $\psi_{re,V} = 1,00$, da gesonderter Querkraftnachweis gewählt wurde
- $\psi_{ec,V} = 1,00$, da ein Einzeldübel betrachtet wird
- $\psi_{\alpha,V} = 1,00$, Beanspruchung senkrecht zur Tragwerkskante
- $\psi_{h,V} = \max\left(1, 0; (1,5 \cdot C_T/h_T)^{1/2}\right) = \max\left(1, 0; (1,5 \cdot 500/250)^{1/2}\right) = 1,73$
- $\psi_{s,V} = 1,00$, da nur ein Bauteilrand zu berücksichtigen ist

Die idealisierte Ausbruchsfläche ergibt sich zu:

$$A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot C_T^2 = 4,50 \cdot 0,50^2 = 1,125 \text{ m}^2 \quad (3.41)$$

Die verfügbare Länge der Ausbruchsfläche ist:

$$\text{Länge} = \min(s_1; 3 \cdot C_T) = \min(0,55; 3 \cdot 0,50) = 0,55 \text{ m} \quad (3.42)$$

Die verfügbare Höhe der Ausbruchsfläche ist:

$$\text{Höhe} = \min(V_{T,Kr}; 3 \cdot C_T) = \min(0, 20; 3 \cdot 0, 50) = 0, 20 \text{ m} \quad (3.43)$$

Daraus folgt die Fläche der tatsächlichen Ausbruchsfläche zu:

$$A_{c,V} = 0, 55 \cdot 0, 20 = 0, 110 \text{ m}^2 \quad (3.44)$$

Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstands gegen Betonausbruch wird wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} V_{Rk,c}^0 &= k_1 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot h_{ef}^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot C_T^{1,5} \\ &= 2, 0 \cdot 18, 0^0 \cdot 0, 046 \cdot 105^0 \cdot 0, 051 \cdot \sqrt{37, 0} \cdot 500^{1,5} = 167, 68 \text{ kN} \end{aligned} \quad (3.45)$$

Der charakteristische Widerstand gegen Betonausbruch ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} V_{Rk,c} &= V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V} \\ &= 167, 68 \cdot \frac{0, 110}{1, 125} \cdot 1, 00 \cdot 1, 00 \cdot 1, 00 \cdot 1, 73 \cdot 1, 00 = 28, 40 \text{ kN} \end{aligned} \quad (3.46)$$

Somit ist der Auslastungsgrad:

$$\beta_{V,c} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rk,c}/1, 50} = \frac{7, 67}{28, 40/1, 50} = 0, 41 \quad (3.47)$$

In Abbildung 3.15 ist der Bemessungsablauf im Tabellenblatt Kern2 dargestellt.

NACHWEIS GEGEN BETONKANTENBRUCH			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Psi-Wert, Einfluss der Lage der Verankerung, bzw. Ar	$\psi_{re,V}$	1,00						
Psi-Wert, Einfluss von Querlasten	$\psi_{ec,V}$	1						
Faktor für Winkel zur bauteilkante	$\psi_{\alpha,V}$	1						
Psi-Wert, Querwiderstand nicht proportional	$\psi_{h,V}$	1,73						
Psi-Wert, Störung des SPZ	$\psi_{s,V}$	1						
Idealisierte Ausbruchsfläche	$A_{c,V}^0$	1125000						
Tatsächliche Ausbruchsfläche	$A_{c,V}$	110000						
verfügbare Länge der Ausbruchsfläche		550						
verfügbare Höhe der Ausbruchsfläche		200						
	α	0,046						
	β	0,051						
Ausgangswert des char. Widerstandes	$V_{Rk,c}^0$	167683						
char. Widerstand gegen Betonkantenbruch	$V_{Rk,c}$	28398						
Sicherheitsfaktor	γ_{Mc}	1,50	1,35	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,c}$	18932	21036	18932	18932	18932	18932	18932
	V_{Sd}	0	0	15345	-13200	0	0	0
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00

Abbildung 3.15: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung Querkraft – Betonkantenbruch

3.3.8 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Bei gleichzeitiger Beanspruchung des Dübels durch Normal- und Querkräfte sind die Auslastungsgrade zu überlagern. Dazu werden die höchsten Auslastungsgrade jeweils aus Normalkraftbeanspruchung und aus Querkraftbeanspruchung gemäß Annex C Formel (5.9) überlagert. Der maximale Auslastungsgrad bei Normalkraftbeanspruchung β_N tritt für den Nachweis „Betonausbruch“ mit 0,79 auf, der maximale Auslastungsgrad bei Querkraftbeanspruchung β_H für den Nachweis „Betonkantenbruch“ mit 0,41. Der Beiwert α ergibt sich zu 1,50, da für Normalkraft und Querkraft der Nachweis gegen Stahlversagen nicht maßgebend ist. Die Gesamtauslastung der Verbindung kann somit berechnet werden:

$$\beta_N^\alpha + \beta_H^\alpha = 0,79^{1,5} + 0,41^{1,5} = 0,96 \leq 1,00 \quad (3.48)$$

Die gewählte Verbindung ist daher **im Tragwerk zulässig**.

In Abbildung 3.16 ist zudem zu erkennen, dass die höchste Auslastung im LF3 auftritt. Aus diesem Grund wurden im Beispiel alle Nachweise für diesen Lastfall berechnet.

Die LF1 und LF2 weisen eine Auslastung von 0,00 auf. Der Grund dafür liegt auf der Hand: In LF1 werden nur Eigengewichtslasten berücksichtigt. Die Lasten in diesem Beispiel haben eine sehr kleine Exzentrizität; die Dübelverbindung ist daher überdrückt. Lastfall 2 hingegen enthält Eigengewicht sowie Anpralllasten. In diesem Beispiel werden keine Rückhaltesystemlasten berücksichtigt; es gilt daher sinngemäß das Gleiche wie für LF 1.

Im Ausdruck werden sämtliche Nachweise für den maßgebenden Lastfall (LF3) aufgeführt (siehe Anhang A).

ZUSAMMENFASSUNG DER BEMESSUNGSERGEBNISSE				EINREIHIG					
				Dübelreihe 1					
NACHWEISE FÜR ZUGBEANSPRUCHUNG				LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
STAHLVERSAGEN:				0,00	0,00	0,42	0,22	0,00	0,00
HERAUSZIEHEN:				-	-	-	-	-	-
BETONAUSTRICH:				0,00	0,00	0,79	0,42	0,00	0,00
SPALTEN:				0,00	0,00	0,71	0,38	0,00	0,00
β_N				0,00	0,00	0,79	0,42	0,00	0,00
NACHWEISE FÜR QUERBEANSPRUCHUNG									
STAHLVERSAGEN, QUERLAST				0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00
BETONAUSTRICH (PRYOUT)				0,00	0,00	0,12	0,11	0,00	0,00
BETONKANTENBRUCH				0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00
β_V				0,00	0,00	0,41	0,15	0,00	0,00
INTERAKTIONSNACHWEIS - NORMALKRAFT - QUERKRAFT									
genauer	α			2,00	2,00	1,50	1,50	2,00	2,00
	$\beta_N < 1$			0,00	0,00	0,79	0,42	0,00	0,00
	$\beta_V < 1$			0,00	0,00	0,41	0,15	0,00	0,00
	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha < 1,0$			0,00	0,00	0,96	0,33	0,00	0,00

Abbildung 3.16: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern2: Berechnung Interaktion – Normalkraft – Querkraft

3.4 Nachweise Dübel – Randbalken

Diese Nachweise sind im Tabellenblatt Kern4 programmiert. Die Berechnung der restlichen Lastfälle erfolgt analog. Das zu Grunde liegende Normenwerk ist die ÖVBB-Richtlinie „Konstruktive Stahleinbauteile in Beton und Stahlbeton“ [2]. Programmintern erfolgen die Berechnungen normgemäß in [N] und [mm].

3.4.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Die charakteristische Dübeltragfähigkeit wird aus der Dübelzulassung entnommen (hier: $N_{Rd,s} = 60,00 \text{ kN}$. Der Auslastungsgrad ergibt sich somit zu:

$$\beta_{N,s} = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd,s}/\gamma_{Ms}} = \frac{24,92}{60,00/1,50} = 0,42 \quad (3.49)$$

Abbildung 3.17 zeigt diesen Nachweis im Programm Hilti Randbalken.

Stahlversagen des Kopfbolzens			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
char. Wert aus Zulassung	$N_{Rk,s}$		90000					
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Ms}		1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50
bem. Wert des Widerstandes gegen Stahlversagen	$N_{Rd,s}$		60000	90000	60000	60000	60000	60000
bem. Wert der Einwirkung	N_{Sd}		0	0	24924	13260	0	0
Ausnutzungsgrad	β_s		0,00	0,00	0,42	0,22	0,00	0,00

Abbildung 3.17: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Stahlversagen

3.4.2 Zentrischer Zug – Herausziehen

Der Faktor $\psi_{ucr,N}$ ist gleich 1,00, da die Bemessung für gerissenen Beton erfolgt. Die Tabelle Dat_Dübel liefert die Aufstandsfläche des Kopfbolzens A_h . Die charakteristische Bolzenpressung ist:

$$p_{uk} = \frac{6}{0,95} \cdot f_{cwk,150} = \frac{6}{0,95} \cdot 25,0 = 157,9 \text{ N/mm}^2 \quad (3.50)$$

Der charakteristische Widerstand gegen Herausziehen ergibt sich zu:

$$N_{Rk,p} = p_{uk} \cdot A_h \cdot \psi_{ucr,N} / 1000 = 157,9 \cdot 297,0 \cdot 1,0 / 1000 = 47,00 \text{ kN} \quad (3.51)$$

Dadurch lässt sich folgender Auslastungsgrad berechnen:

$$\beta_{N,p} = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd,p}/\gamma_{Mp}} = \frac{24,92}{47,00/1,50} = 0,80 \quad (3.52)$$

Der angeführte Bemessungsablauf ist in Abbildung 3.18 in der Programmansicht dargestellt.

Herausziehen			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00						
Würfeldruckfestigkeit	$f_{cwk,150}$	25,00						
Aufstandsfläche des Kopfbolzens (der Mutter)	A_h	297,70						
char. Bolzenpressung unter dem Bolzenkopf	p_{uk}	157,9						
char. Widerstand gegen herausziehen	$N_{Rk,p}$	47005						
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mp}	1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
bem. Wert gegen herausziehen	$N_{Rd,p}$	31337	47005	31337	31337	31337	31337	31337
bem. Wert der Einwirkung	N_{Sd}	0	0	24924	13260	0	0	0
Ausnutzungsgrad	β_p	0,00	0,00	0,80	0,42	0,00	0,00	0,00

Abbildung 3.18: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Herausziehen

3.4.3 Zentrischer Zug – Betonausbruch

Die benötigten Beiwerte sind:

- $\psi_{ucr,N} = 1,00$, da Verankerung in gerissenem Beton
- $\psi_{ec,N} = 1,00$, da ein Einzelbolzen betrachtet wird
- $\psi_{re,N} = \min(1,00; 0,5 + h_{ef}/200) = \min(1,00; 0,5 + 165/200) = 1,00$
- $\psi_{s,N} = \min(1,00; 0,7 + 0,3 \cdot C_{RB}/c_{cr,N}) = \min(1,00; 0,7 + 0,3 \cdot 500/247,5) = 1,00$

Die Länge $s_{cr,N}$ ist $3,0 \cdot h_{ef}$. Die Verankerungslänge h_{ef} errechnet sich aus der Dübellänge abzüglich der Einbindetiefe ins Tragwerk und der Höhe der aufgesetzten Schraubmutter; sie beträgt für dieses Beispiel 165 mm. Die idealisierte Ausbruchsfläche des Einzeldübels ergibt sich zu:

$$A_{c,N}^0 = (s_{cr,N})^2 = 0,495^2 = 0,245 \text{ m}^2 \quad (3.53)$$

Die Länge der vorhandenen Ausbruchsfläche ist:

$$\text{Länge} = \min(s_{cr,N}; s_1) = \min(0,495; 0,550) = 0,495 \text{ m} \quad (3.54)$$

Die Breite der vorhandenen Ausbruchsfläche ist:

$$\begin{aligned} \text{Breite} &= \min(s_{cr,N}/2; C_{RB}) + \min(s_{cr,N}/2; C_T) \\ &= \min(0,495/2; 0,500) + \min(0,495/2; 500) = 0,495 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.55)$$

Die vorhandene Ausbruchsfläche ergibt sich somit zu:

$$A_{c,N} = 0,495 \cdot 0,495 = 0,245 \text{ m}^2 \quad (3.56)$$

Der charakteristische Widerstand gegen Betonausbruch in gerissenem Beton ist:

$$N_{Rk,c}^0 = 9,0 \cdot \sqrt{\frac{f_{cwk}}{0,95}} \cdot h_{ef}^{1,5} / 1000 = 9,0 \cdot \sqrt{\frac{25,0}{0,95}} \cdot 165,0^{1,5} / 1000 = 97,85 \text{ kN} \quad (3.57)$$

Der charakteristische Widerstand gegen Betonausbruch eines Kopfbolzens errechnet sich gemäß ÖVBB-RL Gleichung (5.8) wie folgt:

$$\begin{aligned} N_{Rk,c} &= N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ucr,N} \\ &= 97,85 \cdot \frac{0,245}{0,245} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 97,85 \text{ kN} \end{aligned} \quad (3.58)$$

Der Auslastungsgrad für den LF3 ergibt sich somit zu:

$$\beta_{N,c} = \frac{N_{Sd}}{N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}} = \frac{24,92}{97,85/1,50} = 0,38 \quad (3.59)$$

Abbildung 3.19 zeigt die berechneten Werte in Programmansicht.

Betonausbruch		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00					
Faktor für exzentrische Belastung	$\psi_{ec,N}$	1,00					
Faktor für Abplatzen der Betondeckung	$\psi_{re,N}$	1,00					
max. Länge des halben Ausbruchskegels	$c_{cr,N}$	247,50					
max. Länge des Ausbruchskegels	$s_{cr,N}$	495,00					
Faktor für Störung des SPZ	$\psi_{s,N}$	1,00					
idealisierte Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}^0$	245025					
tatsächliche Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}$	245025					
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		495					
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		495					
Faktor lt. Hilti-Bemessungshandbuch	k_1	9,00					
char. Widerstand im gerissenen Beton	$N_{Rk,c}^0$	97854					
char. Widerstand eines Kopfbolzens	$N_{Rk,c}$	97854					
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50
bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,c}$	65236	81545	65236	65236	65236	65236
bem. Wert der Einwirkung	N_{Sd}	0	0	24924	13260	0	0
Auslastungsgrad	β_c	0,00	0,00	0,38	0,20	0,00	0,00

Abbildung 3.19: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Betonausbruch

3.4.4 Zentrischer Zug – Spaltbruch

Dieser Nachweis ist dem Nachweis gegen Betonausbruch sehr ähnlich. Daher kann auf die komplette Darstellung des Bemessungsablaufes verzichtet werden. Lediglich der Faktor $\psi_{h,sp}$ ist zusätzlich zu berücksichtigen. Dieser Faktor ergibt sich im gegenständlichen Beispiel zu:

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{3 \cdot h_{ef}}{2 \cdot h_{min}} \right)^{2/3} = \left(\frac{3 \cdot 250,0}{2 \cdot 50,0} \right)^{(2/3)} \leq 1,00 \Rightarrow \psi_{h,sp} = 1,00 \quad (3.60)$$

Der Auslastungsgrad lässt sich somit wie folgt berechnen:

$$\beta_{N,sp} = \frac{N_{Sd}}{N_{Rk,sp}/\gamma_{Mc}} = \frac{24,92}{97,85/1,50} = 0,38 \quad (3.61)$$

Abbildung 3.20 zeigt die berechneten Werte für diesen Nachweis in der Programmansicht.

Spaltbruch			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Faktor zur Berücksichtigung der Bauteiltiefe	$\psi_{h,sp}$		1,00					
max. Länge des Ausbruchskegels	$s_{cr,sp}$		495					
max. Länge des halben Ausbruchskegels	$c_{cr,sp}$		248					
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$		1,00					
Faktor für Abplatzen der Betondeckung	$\psi_{re,N}$		1,00					
Faktor für exzentrische Belastung	$\psi_{ec,N}$		1,00					
Faktor für Störung des SPZ	$\psi_{s,N}$		1,00					
idealisierte Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}^0$		245025					
tatsächliche Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}$		245025					
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)			495					
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)			495					
char. Widerstand im gerissenen Beton	$N_{Rk,c}^0$		97854					
char. Widerstand eines Kopfbolzens	$N_{Rk,sp}$		97854					
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Msp}		1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50
bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,sp}$		65236	81545	65236	65236	65236	65236
bem. Wert der Einwirkung	N_{Sd}		0	0	24924	13260	0	0
Auslastungsgrad	β_c		0,00	0,00	0,38	0,20	0,00	0,00

Abbildung 3.20: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Spaltbruch

3.4.5 Zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch

Zuerst werden sämtliche Beiwerte gelistet:

- $\psi_{s,Nb} = 1,00$, da kein zweiter Randabstand vorhanden ist
- $\psi_{ucr,N} = 1,00$, da Berechnung in gerissenem Beton
- $\psi_{ec,Nb} = 1,00$, da ein Einzelbolzen betrachtet wird
- $\psi_{g,Nb} = 1,00$, da ein Einzelbolzen betrachtet wird

Der charakteristische Widerstand eines Einzelbolzens mit großen Achs- und Randabständen in gerissenem Beton $N_{Rk,c}^0$ ist:

$$N_{Rk,c}^0 = 8 \cdot c_1 \cdot \sqrt{A_h} \cdot \frac{f_{cwk}}{0,95} / 1000 = 8 \cdot C_{RB} \cdot \sqrt{297,7} \cdot \frac{25}{0,95} / 1000 = 354,0 \text{ kN} \quad (3.62)$$

Der charakteristische Widerstand ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} N_{Rk,c} &= N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,Nb}}{A_{c,Nb}^0} \cdot \psi_{s,Nb} \cdot \psi_{ucr,N} \cdot \psi_{ec,Nb} \cdot \psi_{g,Nb} \cdot \psi_{s,Nb} \\ &= 354,0 \cdot \frac{0,2450}{0,2450} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 354,04 \text{ kN} \quad (3.63) \end{aligned}$$

Der Auslastungsgrad für den Nachweis gegen lokalen Betonausbruch im LF3 beträgt

$$\beta_{N,cb} = \frac{N_{Sd}}{N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}} = \frac{24,92}{354,04 / 1,50} = 0,11 \quad (3.64)$$

Der programminterne Bemessungsablauf aus Tabellenblatt Kern4 ist in Abbildung 3.21 dargestellt.

lokaler Betonausbruch			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Faktor zur Erfassung der Störung des SPZ	$\psi_{s,Nb}$		1,00					
Faktor berücksichtigt gerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$		1,00					
Faktor berücksichtigt eine Bolzengruppe	$\psi_{ec,Nb}$		1,00					
Faktor die Lastfläche eines Einzelbolzens einer Gr.	$\psi_{g,Nb}$		1,00					
Faktor zur Erfassung der Störung des SPZ	$\psi_{s,Nb}$		1,00					
idealisierte Fläche des Ausbruchs Körpers	$A_{c,Nb}^0$		245025					
vorhandene Fläche des Ausbruchs Körpers	$A_{c,Nb}$		245025					
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)			495					
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)			495					
char. Widerstand bei großen Randabständen	$N_{Rk,cb}^0$		354044					
char. Widerstand eines Einzelbolzens	$N_{Rk,cb}$		354044					
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}		1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50
bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,cb}$		236030	295037	236030	236030	236030	236030
bem. Wert der Einwirkung	N_{Sd}		0	0	24924	13260	0	0
Auslastungsgrad	β_c		0,00	0,00	0,11	0,06	0,00	0,00

Abbildung 3.21: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch

3.4.6 Querkraft – Stahlversagen ohne Hebelsarm

Die charakteristische Tragfähigkeit des Dübels wird aus Tabellenblatt `Dat_Dübel` entnommen und stammt aus der entsprechenden Dübelzulassung (hier: $H_{Rk,s} = 56,00$ kN). Der Auslastungsgrad des Nachweises für den LF3 ergibt sich zu

$$\beta_{H,s} = \frac{H_{Sd}}{H_{Rk,s}/\gamma_{Mc}} = \frac{7,67}{56,00/1,25} = 0,17 \quad (3.65)$$

Der Bemessungsablauf in Programmansicht ist in Abbildung 3.22 dargestellt.

Stahlversagen Kopfbolzen ohne Hebelsarm			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
char. Zulässige Querkraft je Dübel	$V_{Rk,s}$		56000					
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}		1,25	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25
bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,s}$		44800	56000	44800	44800	44800	44800
bem. Wert der Einwirkung	V_{Sd}		0	0	7673	-6600	0	0
Auslastungsgrad	β_s		0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00

Abbildung 3.22: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung Querkraft – Stahlversagen

3.4.7 Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)

Der charakteristische Widerstand gegen Pryout ist:

$$H_{Rk,cp} = k_4 \cdot N_{Rk,c} = 2,00 \cdot 97,85 = 195,71 \text{ kN} \quad (3.66)$$

In Gleichung (3.66) wird für $N_{Rk,c}$ der Wert aus Gleichung (3.58) verwendet. Der Auslastungsgrad berechnet sich daher wie folgt:

$$\beta_{H,cp} = \frac{H_{Sd}}{H_{Rk,cp}/1,50} = \frac{7,67}{195,71/1,50} = 0,06 \quad (3.67)$$

Abbildung 3.23 zeigt die berechneten Werte des Programms HILTI RANDBALKEN.

Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Faktor für Pryoutwiderstand	k_4	2					
char. Widerstand gegen Betonausbruch	$N_{Rk,c}$	97854	97854	97854	97854	97854	97854
char. Widerstand gegen Pryout	$V_{Rk,cp}$	195707	195707	195707	195707	195707	195707
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,2	1,50	1,50	1,50	1,50
bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,cp}$	130471	163089	130471	130471	130471	130471
bem. Wert der Einwirkung	V_{Sd}	0	0	7673	-6600	0	0
Auslastungsgrad	β_{cp}	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00

Abbildung 3.23: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung Querkraft – Pryout

3.4.8 Querkraft – Betonkantenbruch

Der Nachweis gegen Betonkantenbruch wird gemäß der ÖVBB-Richtlinie „Stahleinbauteile in Beton und Stahlbeton“ [3] durchgeführt. Die Richtlinie verweist dabei auf ETAG 001 Annex C [1]), Bemessungsverfahren A. Der geführte Nachweis entspricht somit größtenteils dem in Kapitel 3.3.7 beschriebenen Nachweis. Unterschiede ergeben sich nur aufgrund anderer Randabstände und Bauteildicken. In Abbildung 3.24 ist die Programmierung im Tabellenblatt Kern4 abgebildet.

Betonkantenbruch		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00					
Faktor für Exzentrizität der Resultierenden	$\psi_{ec,V}$	1,00					
Winkel zwischen Lastangriffsrichtung u. Rand	$\psi_{\alpha,V}$	1,00					
Faktor für Bauteildicke	$\psi_{h,V}$	1,44					
Störung des SPZ	$\psi_{s,V}$	1,00					
idealisierte Fläche des Ausbruchskörpers	$A_{c,V}^0$	1125000					
tatsächliche Fläche des Ausbruchskörpers	$A_{c,V}$	137500					
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		550					
vorhandene Höhe		250					
char. Widerstand eines Einzelbolzens	$V_{Rk,c}^0$	164630					
char. Widerstand gegen Betonkantenbruch	$V_{Rk,c}$	29020					
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50
bem-Wert gegen Betonkantenbruch	$V_{Rd,c}$	19347	24183	19347	19347	19347	19347
bem. Wert der Einwirkung	V_{Sd}	0	0	7673	0	0	0
Ausnutzungsgrad	β_c	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00

Abbildung 3.24: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung Querkraft – Betonkantenbruch

3.4.9 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Die Interaktion wird gemäß ÖVBB-RL Abschnitt 5.1.2.6.3 geführt. Es kommen dabei die Formeln (5.42) bzw. (5.46) zum Einsatz. Die Formeln werden in Anlehnung an ETAG Annex C zu $(\beta_N)^\alpha + (\beta_H)^\alpha \leq 1,00$ zusammengefasst. Ist für Normalkraft und auch Querkraft Stahlversagen maßgebend, wird der Wert des Faktors $\alpha = 2,00$. In allen anderen Fällen ist $\alpha = 1,50$. In Abbildung 3.25 ist die Überlagerung in Programmansicht dargestellt. Zuerst sind die Auslastungsgrade der einzelnen Nachweise aufgelistet. Jeweils für Normalkraft- und Querkraftbeanspruchung getrennt werden die höchsten Auslastungsgrade ermittelt (β_N und β_V). Danach wird der Wert α bestimmt. In der letzten Zeile befindet sich das Ergebnis der Interaktion. Aus dieser Zeile ermit-

telt das Programm den Lastfall mit der höchsten Auslastung. Im gegenständlichen Beispiel ist das LF3 mit einer Auslastung von 0,96. Daher wurde dieser Lastfall für die Beschreibung der Nachweise gewählt. Der gesamte Ausdruck des Beispiels ist in Anhang A angefügt.

Zusammenfassung der Bem-Ergebnisse		EINREIHIG					
Nachweise für NORMALKRAFTBEANSPRUCHUNG		Dübelreihe 1					
Stahlversagen des Kopfbolzens		0,00	0,00	0,42	0,22	0,00	0,00
Herausziehen		0,00	0,00	0,80	0,42	0,00	0,00
Betonausbruch		0,00	0,00	0,38	0,20	0,00	0,00
Spaltbruch		0,00	0,00	0,38	0,20	0,00	0,00
lokaler Betonausbruch		0,00	0,00	0,11	0,06	0,00	0,00
β_N		0,00	0,00	0,80	0,42	0,00	0,00
Nachweise bei QUERKRAFTBEANSPRUCHUNG							
Stahlversagen ohne Hebelsarm		0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00
Betonausbruch auf Lastabgewandter Seite		0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00
Betonkantenbruch		0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00
β_V		0,00	0,00	0,40	0,15	0,00	0,00
Interaktionsnachweis N-V		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6
α		2	2	1,5	1,5	2	2
β_N		0,00	0,00	0,80	0,42	0,00	0,00
β_V		0,00	0,00	0,40	0,15	0,00	0,00
$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha < 1,0$		0,00	0,00	0,96	0,33	0,00	0,00

Abbildung 3.25: Beispiel BAD HVZ HCR – Kern4: Berechnung, Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Kapitel 4

Berechnungsbeispiel HRB TZ HCR

Dieses Kapitel führt anhand eines praxisnahen Beispiels durch die Berechnung der Randbalkenverankerung mittels des Dübelsystems HRB TZ HCR. Die Nachweise werden entsprechend der jeweiligen Norm bzw. Richtlinie sowie der Software HILTI RANDBALKEN durchgeführt. Wie in Kapitel 3 sind die Berechnungsschritte inklusive der normgemäßen Formeln angeschrieben und ausgewertet. Die entsprechenden Abbildungen aus dem Programm HILTI RANDBALKEN zeigen die dort berechneten Werte der Nachweise. Dieses Kapitel konzentriert sich dabei vor allem auf die Unterschiede zu Berechnungsbeispiel BAD HVZ HCR; die meisten Nachweise gestalten sich sehr ähnlich. Anhang B enthält den vollständigen Programmausdruck zu diesem Beispiel.

Abbildung 4.1 zeigt das gegenständliche Beispiel mit allen Abmessungen und Belastungen. Im Gegensatz zum Beispiel in Kapitel 3 erfolgt die Verankerung durch zwei Dübelreihen. Die Belastungen stammen aus einem Rückhaltesystem sowie einer Lärmschutzwand mit Windbelastung.

4.1 Angabewerte für das Berechnungsbeispiel HRB TZ HCR

4.1.1 Generelle Einstellungen

Das Tabellenblatt `Eingabe` beinhaltet im oberen Bereich die grundlegenden Einstellungen. In Abbildung 4.2 sind alle für dieses Beispiel zu wählenden generellen Einstellungen dargestellt:

- Dübelsystem: HRB TZ HCR
- Dübelabmessungen: M16x300
- Dübelreihen: zwei
- Rückhaltesystem: Kremsbarrier 3 R H2
- Lärmschutzwand: vorhanden

4.1.2 Geometrische Einstellungen

Direkt unterhalb des in Abbildung 4.2 dargestellten Bereichs befindet sich der Eingabebereich für die Geometriedaten. Abbildung 4.3 zeigt diesen Bereich bereits mit den Werten dieses Beispiels befüllt. Zusammengefasst sind dies folgende Werte:

- Randbalken:
 - Breite und Höhe des über dem Tragwerk befindlichen Teils:
 $B_{RB,PL} = 1\,000\text{ mm}$ und $H_{RB,PL} = 250\text{ mm}$
 - Breite und Höhe des ausragenden Teils des Randbalkens:
 $B_{RB,BA} = 200\text{ mm}$ und $H_{RB,BA} = 400\text{ mm}$
- Tragwerk:
 - Höhe am Beginn des Randbalkens: $H_T = 300\text{ mm}$
 - Höhe am Tragwerksende: $H_{T,KR} = 200\text{ mm}$
- Drehpunktabstand: $d = 10\text{ mm}$

HILTI Engineering

GEOMETRIE

$B_{RB,PL}$ 1000 mm $H_{RB,PL}$ 250 mm

$B_{RB,BA}$ 200 mm $H_{RB,BA}$ 400 mm

H_T 300 mm d 10 mm

$H_{T,KR}$ 200 mm

BELASTUNGEN

N_{Ek} 0 kN/m

H_{Ek} 0 kN/m

M_{Ek} 0 kNm/m

LÄRMSCHUTZWAND

H_{LSW} 3200 mm w_k 2,50 kN/m²

C_{LSW} 900 mm $B_{LSW,k}$ 4,00 kN/m

VERDÜBELUNG

C_{RB} 180 mm a 400 mm

s_1 650 mm

s_2 1000 mm H_{ef} 130 mm

RÜCKHALTESYSTEM

Kremsbarrier 3 R H2

H 40,00 kN

M 25,00 kNm

e 1,33 m

TEILSICHERHEITSBEIWERTE MATERIALEITE

- Teilsicherheitsbeiwerte außergewöhnliche Belastung

Verankerung ist zulässig

Abbildung 4.3: Beispiel HRB TZ HCR – Eingabe: Einstellungen der Randbalkengeometrie, Belastung und Verdübelung

4.1.3 Eingabe der Belastungen, des Rückhaltesystems und der Lärmschutzwand

Neben einem Rückhaltesystem und der Lärmschutzwand ist es möglich, Belastungen aus ständiger Last (z.B. Abspannungen) zu berücksichtigen. Diese Lasten werden in

diesem Beispiel nicht verwendet. Es kommt ein Rückhaltesystem vom Typ KREMS-BARRIER 3 R H2 zum Einsatz. Die Lasten des Rückhaltesystems werden vom Programm aus `Dat_Rückh`. entnommen und stammen aus RVS 15.04.71 [8]. Die Lasten des ausgewählten Rückhaltesystems für dieses Beispiel (siehe Abbildung 4.3 Mitte) betragen pro Leitschienensteher: $H = 40,00 \text{ kN}$ und $M = 25,00 \text{ kNm}$. Der Steherabstand für dieses System beträgt $e = 1,33 \text{ m}$. Zusätzlich ist eine Lärmschutzwand vorhanden. Die Abmessungen sowie die Belastungen der Lärmschutzwand (LSW) sind wie folgt:

- Geometrie: $H_{LSW} = 3\,200 \text{ mm}$, $C_{LSW} = 900 \text{ mm}$
- Belastungen: $w_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$, $g_{LSW} = 4,00 \text{ kN/m}$

4.1.4 Eingabe der Verdübelungen

Hier muss zunächst der Randabstand der ersten Dübelreihe C_{RB} sowie der Abstand zwischen den Dübelreihen a eingegeben werden. Diese beiden Werte verändern die Horizontalkrafttragfähigkeit der Verbindung stark. Die Dübelsetzabstände der ersten Dübelreihe s_1 sowie der zweiten Dübelreihe s_2 sind gemeinsam mit den Dübelabmessungen jene Variablen, mit denen der Planer die Auslastung der Verbindung am stärksten beeinflussen kann. Beim Dübelssystem BAD HVZ HCR ist die Setztiefe des Dübels bereits durch Auswahl des Dübels gegeben. Das Dübelssystem HRB TZ HCR ist hier flexibler und gestattet eine variable Ankerlänge H_{ef} . In diesem Beispiel werden folgende Werte verwendet:

- Randabstand: $C_{RB} = 180 \text{ mm}$
- Dübelreihenabstand: $a = 400 \text{ mm}$
- Verankerungslänge: $H_{ef} = 130 \text{ mm}$
- Dübelsetzabstand 1. Reihe: $s_1 = 650 \text{ mm}$
- Dübelsetzabstand 2. Reihe: $s_2 = 1\,000 \text{ mm}$

Darunter befindet sich ein Dropdownmenü für die Auswahl der materialeitigen Teilsicherheitsbeiwerte im außergewöhnlichen Lastfall. In diesem Beispiel ist die Option „Teilsicherheitsbeiwerte außergewöhnliche Belastung“ aktiviert. Dies bedeutet, dass im Lastfall 2, in dem die Anpralllasten berücksichtigt werden, materialeitig mit reduzierten Teilsicherheitsbeiwerten gerechnet wird. Im untersten Bereich von Abbildung 4.3 ist bereits zu erkennen, dass die gewählten Parameter zu einer zulässigen Verankerung führen.

4.2 Lastaufstellung – Präprozessor

Die Lastaufstellung wird wie zuvor erläutert programmintern im Tabellenblatt `Basis2` vorgenommen (siehe Kapitel 2.4.1).

4.2.1 Eigengewicht des Randbalkens

Da die Randbalkengeometrie zu Beispiel BAD HVZ HCR nicht verändert wurde, gelten die Berechnungen in Kapitel 3.2.1, Seite 51, auch für dieses Beispiel. Das Eigengewicht des Randbalkens führt daher zu folgenden Kräften:

$$M_{Ek} = 6,70 \text{ kNm/m} \qquad V_{Ek} = 9,50 \text{ kN/m} \qquad (4.1)$$

4.2.2 Lasten aus Rückhaltesystem

Die einwirkenden Kräfte aus dem Rückhaltesystem sind gemäß RVS 15.04.71 pro Steher (Abstand $e = 1,33 \text{ m}$) angegeben und werden vom Programm linear in Meterlasten umgerechnet:

$$H_{leit} = 40,00/1,33 = 30,10 \text{ kN/m} \qquad (4.2)$$

$$M_{leit} = 25,00/1,33 = 18,80 \text{ kNm/m} \qquad (4.3)$$

Abbildung 4.4 zeigt diesen Berechnungsschritt im Programm HILTI RANDBALKEN.

Lasten aus Rückhaltesystem			
Umrechnung der Leitsystemeinwirkung auf eine Meterlast, Spannungsspitzen bei den Stehern werden dabei nicht berücksichtigt			
	H_leit	30,08	[kN/m]
	M_leit	18,80	[kNm/m]
Lasten um LAP aus Rückhaltesystem			
H=	30,1 kN/m	V=	0,0 kN/m
		M=	18,8 kNm/m

Abbildung 4.4: Beispiel HRB TZ HCR – Basis2: Belastung aus Rückhaltesystem

4.2.3 Lasten aus Lärmschutzwand

Die Berechnung der Lärmschutzwandlasten erfolgen analog zu Kapitel 3.2.3. In Abbildung 4.5 ist die Berechnung in Programmansicht dargestellt, wobei die maßgebenden Werte unten zusammengefasst sind.

Lasten aus Lärmschutzwand			
Lärmschutzwand unter Windbelastung, Wind "von rechts"			
Horizontal	Belastung des Randbalkens je Meter Brücke	9,63	[kN/m]
	Hebelsarm	1,28	[m]
	Moment aus LSW je Meter Brücke	12,27	[kNm/m]
Lärmschutzwand unter Windbelastung, Wind "von links"			
Horizontal	Belastung des Randbalkens je Meter Brücke	-8,00	[kN/m]
	Hebelsarm	1,60	[m]
	Moment aus LSW je Meter Brücke	-12,80	[kNm/m]
Vertikal	Eigengewicht der LSW je Meter Brücke	4,00	[kN/m]
	Moment aus Eigengewicht LSW	3,60	[kNm/m]
veränderliche Lasten um LAP aus LSW			
H=	9,6 kN/m	V=	0,0 kN/m
		M=	12,3 kNm/m
H=	-8,0 kN/m	V=	0,0 kN/m
		M=	-12,8 kNm/m
ständige Lasten um LAP aus LSW			
H=	0,0 kN/m	V=	4,0 kN/m
		M=	3,6 kNm/m

Abbildung 4.5: Beispiel HRB TZ HCR – Basis2: Belastung aus Rückhaltesystem

4.2.4 Lastfallerzeugung

Die zuvor ermittelten Belastungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten versehen, entsprechend zu Lastfällen überlagert und daraus dann die Bemessungslastfälle generiert. Die benutzten Teilsicherheitsfaktoren der Lastfälle sind in den Tabellen 2.3 und 2.4 gelistet. Abbildung 4.6 zeigt die verwendeten Lastfälle samt Teilsicherheitsfaktoren und die dazugehörigen Werte dieses Beispiels. Im Gegensatz zu Kapitel 3 sind nun auch im Lastfall 2 Kräfte vorhanden.

Lastfall 1, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händische Lasteingabe						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,35	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	4,0 kN/m	3,6 kNm/m	1,00	1,35	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,35	
LF1	0,0 kN/m	18,2 kN/m	13,9 kNm/m			
Lastfall 2, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händisch + Anprall						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,00	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	4,0 kN/m	3,6 kNm/m	1,00	1,00	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,00	
Anpralllasten	30,1 kN/m	0,0 kN/m	18,8 kNm/m	1,00	1,00	
LF2	30,1 kN/m	13,5 kN/m	29,1 kNm/m			
Lastfall 3, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händisch + Wind von links						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,35	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	4,0 kN/m	3,6 kNm/m	1,00	1,35	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,35	
Windlast "von links"	9,6 kN/m	0,0 kN/m	12,3 kNm/m	1,00	1,50	
LF3	14,4 kN/m	18,2 kN/m	32,3 kNm/m			
Lastfall 4, Bezugspunkt ist LAP, Eigengewicht & händisch + Windlast von rechts						
	H	V	M	ψ	γ	
Eigengewicht RB	0,0 kN/m	9,5 kN/m	6,7 kNm/m	1,00	1,35	
Eigengewicht LSW	0,0 kN/m	4,0 kN/m	3,6 kNm/m	1,00	1,35	
händische Lasteingabe (immer)	0,0 kN/m	0,0 kN/m	0,0 kNm/m	1,00	1,35	
Windlast "von rechts"	-8,0 kN/m	0,0 kN/m	-12,8 kNm/m	1,00	1,50	
LF4	-12,0 kN/m	18,2 kN/m	-5,3 kNm/m			

Abbildung 4.6: Beispiel HRB TZ HCR – Basis2: Lastfallerzeugung

4.2.5 Zerlegung in Dübelkräfte

Im gegenständlichen Beispiel wird der Randbalken durch zwei Dübelreihen verankert. Die Berechnung erfolgt für jeden Lastfall einmal mit Drehpunkt rechts und einmal mit Drehpunkt links. Die jeweils größere Dübellast jedes Lastfalls findet in der weiteren Berechnung Verwendung. Abbildung 4.7 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für alle 6 Lastfälle. Die LF5 und LF6 sind Reservelastfälle (derzeit unbenutzt).

Im Unterschied zum Beispiel BAD HVZ HCR existieren nun zwei innere Hebelarme. $r_{Hebel\ 1}$ bezeichnet den Abstand zwischen Betondruckkraft und Dübelzugkraft der ersten Reihe; $r_{Hebel\ 2}$ den Abstand zwischen der Betondruckkraft und der Dübelzugkraft der zweiten Reihe.

Umrechnung der Lasten vom Drehpunkt, auf eine Dübelreihenbelastung je Laufmeter, wenn Drehpunkt rechts								
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	
Verhältnis der Dübelkräfte, $N_1=1$	x	0,5062						[]
Hebelsarm NB1 um Betonkraft	$r_{1,HEBEL}$	0,82						[m]
Hebelsarm NB2 um Betonkraft	$r_{2,HEBEL}$	0,42						[m]
Dübellasten, Reihe 1 je Meter		-4,14	22,57	17,31	-25,76	0,00	0,00	[kN/m]
Dübellasten, Reihe 2 je Meter		-2,09	11,42	8,76	-13,04	0,00	0,00	[kN/m]
Anzahl Dübel Reihe 1		1,5 Stk./m						
Anzahl Dübel Reihe 2		1,0 Stk./m						
Belastung für Einzeldübel, Dübelreihe 1, Drehpunkt rechts in kN/Dübel								
Horizontalkraft je Dübel (=H/2)/stk pro lfm)		0,00	9,77	4,69	-3,90	0,00	0,00	[kN]
Normalkraft je Dübel		-2,69	14,67	11,25	-16,75	0,00	0,00	[kN]
Belastung für Einzeldübel, Dübelreihe 2, Drehpunkt rechts in kN/Dübel								
Horizontalkraft je Dübel (=H/2)/stk pro lfm)		0,00	15,04	7,22	-6,00	0,00	0,00	[kN]
Normalkraft je Dübel		-2,09	11,42	8,76	-13,04	0,00	0,00	[kN]
Umrechnung der Lasten vom Drehpunkt, auf eine Dübelreihenbelastung je Laufmeter, wenn Drehpunkt links								
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	
Verhältnis der Dübelkräfte, $N_2=1$	x	0,3103						[]
Hebelsarm Betonkraft - Dübelkraft 1	$r_{1,HEBEL}$	0,176						[m]
Hebelsarm Betonkraft - Dübelkraft 2	$r_{2,HEBEL}$	0,576						[m]
Dübellasten, Reihe 1 je Meter		-6,81	-17,99	-17,64	4,12	0,00	0,00	[kN/m]
Dübellasten, Reihe 2 je Meter		-21,93	-57,98	-56,85	13,27	0,00	0,00	[kN/m]
Anzahl Dübel Reihe 1		1,5 Stk./m						
Anzahl Dübel Reihe 2		1,0 Stk./m						
Belastung für Einzeldübel, Dübelreihe 1, Drehpunkt links in kN/Dübel								
Horizontalkraft je Dübel (=H/2)/stk pro lfm)		0,00	9,77	4,69	-3,90	0,00	0,00	[kN]
Normalkraft je Dübel		-4,42	-11,70	-11,47	2,68	0,00	0,00	[kN]
Belastung für Einzeldübel, Dübelreihe 2, Drehpunkt links in kN/Dübel								
Horizontalkraft je Dübel (=H/2)/stk pro lfm)		0,00	15,04	7,22	-6,00	0,00	0,00	[kN]
Normalkraft je Dübel		-21,93	-57,98	-56,85	13,27	0,00	0,00	[kN]

Abbildung 4.7: Beispiel HRB TZ HCR – Basis2: Zerlegung in Dübellasten

Bei rechtsliegendem Drehpunkt berechnen sich diese Abstände zu:

$$\begin{aligned}
 r_{Hebel\ 1} &= B_{RB,PL} - C_{RB} - 0,4 \cdot d \\
 &= 1,00 - 0,18 - 0,4 \cdot 0,01 \approx 0,82\text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}
 r_{Hebel\ 2} &= B_{RB,PL} - C_{RB} - a - 0,4 \cdot d \\
 &= 1,00 - 0,18 - 0,40 - 0,4 \cdot 0,01 \approx 0,42\text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

Der Randbalken wird als starre Scheibe betrachtet. Das Verhältnis der Dübelkräfte hängt daher von der geometrischen Lage der Dübelreihen ab. Dieses Verhältnis x ist für das gegenständliche Beispiel:

$$x = \frac{C_T - d - a}{C_T - d} = \frac{0,82 - 0,01 - 0,40}{0,82 - 0,01} = 0,5062
 \tag{4.6}$$

Die Dübellast in der ersten Dübelreihe je Meter Randbalken ergibt sich für den LF2 zu:

$$\begin{aligned}
 N_{D1} &= - \frac{V_{LF2} \cdot (H_{RB,PL} - 0,4 \cdot d) - H_{LF2} \cdot H_{RB,PL} - M_{LF2}}{r_{Hebel\ 1} + r_{Hebel\ 2} \cdot x} \\
 &= - \frac{13,50 \cdot (1,00 - 0,4 \cdot 0,01) - 30,10 \cdot 0,25 - 29,10}{0,82 + 0,42 \cdot 0,5062} \\
 &= 22,57\text{ kN/m}
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

$$N_{D2} = N_{D1} \cdot 0,5062 = 22,57 \cdot 0,5062 = 11,42\text{ kN/m}
 \tag{4.8}$$

Nun muss noch die Dübelanzahl je Laufmeter für beide Dübelreihen berechnet werden:

$$\text{Anzahl}_1 = 1/s_1 = 1/0,65 = 1,54\text{ Stk./m}
 \tag{4.9}$$

$$\text{Anzahl}_2 = 1/s_2 = 1/1,00 = 1,00\text{ Stk./m}
 \tag{4.10}$$

Daraus ergeben sich für den LF2 für den Fall „Drehpunkt rechts“ folgende Dübelhorizontal- sowie Dübelnormalkräfte:

$$\begin{aligned} H_{Dübel, \text{Reihe1, rechts}} &= \frac{H_{LF2}/2}{1,54} = \frac{30,10/2}{1,54} = 9,77 \text{ kN} \\ H_{Dübel, \text{Reihe2, rechts}} &= \frac{H_{LF2}/2}{1,00} = \frac{30,10/2}{1,00} = 15,04 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} N_{Dübel, \text{Reihe1, rechts}} &= \frac{N_{D1}}{1,54} = \frac{22,57}{1,54} = 14,67 \text{ kN} \\ N_{Dübel, \text{Reihe2, rechts}} &= \frac{N_{D2}}{1,00} = \frac{11,42}{1,00} = 11,42 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Für die Drehpunktlage „links“ ist das Verhältnis der Dübelreihenkräfte x :

$$x = \frac{C_{RB}}{C_{RB} + a} = \frac{0,18}{0,18 + 0,40} = 0,3103 \quad (4.13)$$

Die Hebelsarme $r_{Hebel 1}$ zwischen Betondruckkraft und Normalkraft der Dübelreihe 1 sowie $r_{Hebel 2}$ zwischen Betondruckkraft und Normalkraft der Dübelreihe 2 ergeben sich zu:

$$r_{Hebel 1} = C_{RB} - d \cdot 0,4 = 0,18 - 0,01 \cdot 0,4 = 0,176 \text{ m} \quad (4.14)$$

$$r_{Hebel 2} = C_{RB} - d \cdot 0,4 + a = 0,18 - 0,01 \cdot 0,4 + 0,40 = 0,576 \text{ m} \quad (4.15)$$

Damit lassen sich für den Lastfall 4 die Laufmeterlasten für die Dübelreihe 2 sowie die Dübelreihe 1 berechnen:

$$\begin{aligned} N_{D2} &= -\frac{M_{LF4} + H_{LF4} \cdot H_{RB,PL} - V_{LF4} \cdot 0,4 \cdot d}{x \cdot r_{Hebel 1} + r_{Hebel 2}} \\ &= -\frac{-5,3 + (-12,0) \cdot 0,25 - 18,2 \cdot 0,4 \cdot 0,01}{0,3103 \cdot 0,176 + 0,576} = 13,27 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$N_{D1} = N_{D2} \cdot x = 13,27 \cdot 0,3103 = 4,12 \text{ kN/m} \quad (4.17)$$

Die Anzahl der Dübel je Laufmeter ist in Gleichung (4.10) gegeben. Die Horizontal- sowie Vertikalbelastungen der Einzeldübel für Reihe 1 sowie Reihe 2 ergeben sich damit wie folgt:

$$\begin{aligned} H_{Dübel, \text{Reihe1, links}} &= \frac{H_{LF4}/2}{1,54} = \frac{-12,00/2}{1,54} = -3,90 \text{ kN} \\ H_{Dübel, \text{Reihe2, links}} &= \frac{H_{LF4}/2}{1,00} = \frac{-12,00/2}{1,00} = -6,00 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} N_{Dübel, \text{Reihe1, links}} &= \frac{N_{D1}}{1,54} = \frac{4,12}{1,54} = 2,68 \text{ kN} \\ N_{Dübel, \text{Reihe2, links}} &= \frac{N_{D2}}{1,00} = \frac{13,27}{1,00} = 13,27 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Abbildung 4.7 zeigt im unteren Bereich die programminterne Zusammenfassung der Dübelkräfte bei zweireihiger Verankerungssituation.

4.2.6 Bereitstellung der Dübelkräfte für die anderen Tabellenblätter

Die maßgebenden Dübellasten jedes Lastfalls werden am Ende des Tabellenblatts **Basis2** für die weiteren Nachweise bereitgestellt (siehe Abbildung 4.8).

Zusammenfassung der Dübelbemessungslasten für Übertrag in die Bemessungsblätter (Kern2, Kern3 und Kern4)									
zweireihig			LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	
REIHE I	H		0,00	9,77	4,69	-3,90	0,00	0,00	[kN]
	N		0,00	14,67	11,25	2,68	0,00	0,00	[kN]
REIHE II	H		0,00	15,04	7,22	-6,00	0,00	0,00	[kN]
	N		0,00	11,42	8,76	13,27	0,00	0,00	[kN]

Abbildung 4.8: Beispiel HRB TZ HCR – **Basis2**: Zusammenfassung der maßgebenden Dübelkräfte

4.3 Nachweise Dübel – Tragwerk

Das Tabellenblatt **Kern3** beinhaltet diese Nachweise (siehe Kapitel 2.4.4). Alle erforderlichen Nachweise werden exemplarisch für Dübelreihe 1 mit **LF2** ($N_{Sd,LF2} = 14,67$ kN und $H_{Sd,LF2} = 9,77$ kN) sowie für Dübelreihe 2 mit **LF4** ($N_{Sd,LF4} = 13,27$ kN und $H_{Sd,LF4} = -6,00$ kN) beschrieben. Die zugehörigen Programmberechnungen sind wie bei Beispiel BAD HVZ HCR in entsprechenden Abbildungen beigegefügt. Das zu Grunde liegende Normenwerk ist ETAG Technical Report 029 „Bemessung von Verbunddübeln“ [2]. Das Programm rechnet intern in den normgemäßen Einheiten [N] und [mm]. Zur besseren Übersicht sind die folgenden Programmansichten schmaler dargestellt. Die Reservelastfälle 5 und 6 wurden für Dübelreihe 1 und 2 ausgeblendet, ebenso die Lastfälle 2-6 für die einreihige Bemessungssituation. LF1 des einreihigen Bemessungsfalls (LF1 1R) ist dargestellt, weil einige lastfall- und bemessungssituationsabhängige Werte aus dieser Spalte entnommen werden. Dies dient dem logischen Aufbau und der Vereinfachung des Programms.

4.3.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Der Nachweis erfolgt für beide Dübelreihen. Die Auslastungsgrade für Reihe 1 im LF2 und Reihe 2 im LF4 ergeben sich zu:

$$\beta_{N,s,Reihe\ 1} = \frac{N_{Sd,LF2}}{N_{Rk,s}/1,00} = \frac{14,67}{126,00/1,00} = 0,12 \quad (4.20)$$

$$\beta_{N,s,Reihe\ 2} = \frac{N_{Sd,LF4}}{N_{Rk,s}/1,50} = \frac{13,27}{126,00/1,50} = 0,16 \quad (4.21)$$

Abbildung 4.9 enthält die Bemessung in Programmansicht.

4.3.2 Zentrischer Zug – kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch

Abbildung 4.10 zeigt die berechneten Werte im Programm HILTI RANDBALKEN. Die notwendigen Beiwerte (ψ -Werte) werden zuerst berechnet. Der Faktor $\psi_{s,Np}$ hängt vom

NACHWEIS GEGEN STAHLVERSAGEN		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Zulässige Zugkraft aus ETA	$N_{Rk,s}$	126000									[N]
Teilsicherheitsbeiwert aus ETA	γ_{Ms}	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	[]
Bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,s}$	84000	84000	126000	84000	84000	84000	126000	84000	84000	[N]
	N_{sd}	0,00	0,00	14670,60	11251,62	2676,74	0,00	11424,40	8761,95	13269,31	
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,12	0,13	0,03	0,00	0,09	0,10	0,16	[%]

Abbildung 4.9: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung zentrischer Zug – Stahlversagen

verfügbaren Randabstand a_b ; daher erfolgt eine separate Berechnung für jede Dübelreihe. Die Ermittlung der vorhandenen Längen und Breiten sowie der vorhandenen Beeinflussungsfläche eines Dübels erfolgt ebenfalls getrennt für beide Dübelreihen. Es wird dabei sinngemäß wie in Abbildung 2.33 (Seite 36) dargestellt vorgegangen. Für LF2 ergibt sich der etwas ungewöhnliche Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mp,LF2} = 1,68$. Dieser errechnet sich mit dem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert für Beton $\gamma_c = 1,20$ aus:

$$\gamma_{Mp,LF2} = \gamma_c \cdot \gamma_2 = 1,20 \cdot 1,40 = 1,68 \quad (4.22)$$

Diese Abminderung der Teilsicherheitsbeiwerte auf der Materialseite wurde auf Wunsch der Fa. Hilti implementiert. Im untersten Bereich von Abbildung 4.10 sind die Auslastungsgrade $\beta_{N,Np}$ gelistet.

KOMB. VERS. DURCH HERAUSZIEHEN UND BETONAUSBRUCH		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Psi-Wert, Schalenabplatzfaktor	$\psi_{re,Np}$	1,00									[]
Psi-Wert, Gruppenfaktor	$\psi_{ec,Np}$	1,00									[]
Psi-Wert, unterschiedliche Beanspruchung	$\psi_{g,Np}$	1,00									[]
	$c_{cr,Np}$	195									[]
	$s_{cr,Np}$	390									[mm]
Psi-Wert, Störung des SPZ	$\psi_{s,Np}$	1,00	1,00				1,00				[mm]
Beeinflussungsfläche eines Dübels ideell	$A_{p,N}^0$	152100									[mm ²]
Beeinflussungsfläche eines Dübels vorhanden	$A_{p,N}$	152100	152100				152100				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		390	390				390				[mm]
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		390	390				390				[mm]
Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes	$N_{Rk,p}^0$	47571									[N]
char. Widerstand bei Herausziehen und Betonausbruch	$N_{Rk,p}$	47571	47571				47571				[N]
Sicherheitsfaktor	γ_{Mp}	2,10	2,10	1,68	2,10	2,10	2,10	1,68	2,10	2,10	[]
bem. Wert Herausziehen u. Betonausbruch	$N_{Rd,p}$	22653	22653	28316	22653	22653	22653	28316	22653	22653	[N]
bem. Wert der Einwirkung	N_{sd}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269	
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,52	0,50	0,12	0,00	0,40	0,39	0,59	[%]

Abbildung 4.10: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung zentrischer Zug – kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch

4.3.3 Zentrischer Zug – Versagen durch Betonausbruch

Zuerst erfolgt die Berechnung der Beiwerte. Abbildung 4.11 listet diese sowie die weiteren Berechnungsergebnisse. Die Fläche $A_{c,N}$ ergibt sich wieder sinngemäß nach Abbildung 2.32 sowie Abbildung 2.33. Die Auslastungsgrade sind in der letzten Zeile von Abbildung 4.11 dargestellt.

4.3.4 Zentrischer Zug – Spalten bei Belastung

Dieser Nachweise wird gemäß den Erläuterungen in Kapitel 2.4.3.4 (Seite 41) geführt, wozu zuerst sämtliche ψ -Werte berechnet werden. Die Abmessungen der ideellen Ausbruchsfläche $c_{cr,Sp}$ sowie $s_{cr,Sp}$ berechnen sich gemäß Abbildung 2.35 (Seite 41). Danach wird der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes $N_{Rk,Sp}^0$ berechnet.

VERSAGEN DURCH BETONAUSBRUCH			LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Psi-Wert Einfluss unterschiedlicher Zugkräfte	$\psi_{ec,N}$	1,00										[]
Psi-Wert Schalenabplatzfaktor	$\psi_{re,N}$	1,00										[]
Psi-Wert störung des SPZ	$\psi_{s,N}$	1,00						1,00				[]
	$c_{cr,N}$	195										[mm]
	$s_{cr,N}$	390										[mm]
ideelle Beeinflussungsfläche eines Dübels	$A_{c,N}^0$	152100										[mm ²]
vorhandene Beeinflussungsfläche eines Dübels	$A_{c,N}$	152100	152100					152100				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		390	390					390				[mm]
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		390	390					390				[mm]
Ausgangswert des char. Widerstandes	$N_{Rk,c}^0$	64915										[N]
char. Widerstand eines Dübels bei Betonausbruch	$N_{Rk,c}$	64915	64915					64915				[N]
Sicherheitsfaktor	γ_{Mc}	2,10	2,10	1,68	2,10	2,10	2,10	1,68	2,10	2,10		[]
bem. Wert bei Betonausbruch	$N_{Rd,c}$	30912	30912	38640	30912	30912	30912	38640	30912	30912		[kN]
bem. Wert der Einwirkung	N_{sd}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269		[N]
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,38	0,36	0,09	0,00	0,30	0,28	0,43		[%]

Abbildung 4.11: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung zentrischer Zug – Betonausbruch

Dies erfolgt in der Spalte für LF1 der einreihigen Verankerung. Danach werden für alle Lastfälle die Widerstände sowie Einwirkungen angeschrieben und zuletzt die Auslastungsgrade berechnet. Abbildung 4.12 zeigt alle berechneten Werte.

VERSAGEN DURCH SPALTEN BEI BELASTUNG			LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Psi - Wert Einfluss der tatsächlichen Bauteildicke	$\psi_{h,sp}$	1,35						1,29				[]
Psi-Wert Einfluss unterschiedlicher Zugkräfte	$\psi_{s,N}$	1,00										[]
Psi-Wert Schalenabplatzfaktor	$\psi_{re,N}$	1,00										[]
Psi-Wert störung des SPZ	$\psi_{s,N}$	1,00						1,00				[]
Bauteilhöhe an der Stelle der Dübelreihe	h Reihe	282,0						242				[mm]
Faktor	h/hef	2,17						1,86				[]
	$c_{cr,sp}$	130						130				[mm]
	$s_{cr,sp}$	260						260				[mm]
ideelle Ausbruchsfläche	$A_{c,N}^0$	67600						67600				[mm ²]
tatsächliche Ausbruchsfläche	$A_{c,N}$	67600	67600					67600				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		260	260					260				[mm]
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		260	260					260				[mm]
Faktor	k1	7										[]
Ausgangswert des char. Widerstandes	$N_{Rk,sp}^0$	64915										[N]
char. Widerstand eines Dübels bei spalten	$N_{Rk,sp}$	87550	87550					83462				[N]
Sicherheitsfaktor	γ_{Msp}	2,10	2,10	1,68	2,10	2,10	2,10	1,68	2,10	2,10		[]
bem. Wert des Widerstandes		41691	41691	52113	41691	41691	39744	49680	39744	39744		[N]
bem. Wert der Einwirkung	N_{sd}	0	0	9774,44	4692,19	-3900,00	0,00	15037,59	7218,75	-6000,00		[N]
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,28	0,27	0,06	0,00	0,23	0,22	0,33		[]

Abbildung 4.12: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung zentrischer Zug – Spalten bei Belastung

4.3.5 Querkraft – Stahlversagen

Der Nachweis wird sinngemäß wie der Nachweis Stahlversagen bei zentrischem Zug (siehe Kapitel 4.3.1) berechnet. In Abbildung 4.13 sind die Berechnungsschritte in Programmansicht dargestellt. Die letzte Zeile der Abbildung enthält die Auslastungsgrade.

STAHLVERSAGEN - QUERLAST OHNE HEBELARM			LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Zulässige Querkraft aus ETA	$V_{Rk,s}$	63000										[N]
Sicherheitsbeiwert	$\gamma_{Ms,v}$	1,25	1,25	1,00	1,25	1,25	1,25	1,00	1,25	1,25		[]
Bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,s}$	50400	50400	63000	50400	50400	50400	63000	50400	50400		[N]
bem. Wert der Einwirkung	V_{sd}	0,00	0,00	9774,44	4692,19	-3900,00	0,00	15037,59	7218,75	-6000,00		[N]
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,19	0,09	0,08	0,00	0,30	0,14	0,12		[%]

Abbildung 4.13: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung Querkraft – Stahlversagen

4.3.6 Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)

Der Faktor k , in Abbildung 4.14 in der ersten Zeile zu sehen, hat den Wert $k = 1,00$ für Verankerungslängen $h_{ef} < 60$ mm und den Wert $k = 2,00$ für Verankerungslängen $h_{ef} \geq 60$ mm. Die charakteristischen Widerstände gegen kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch $N_{Rk,cp}$ sowie Betonausbruch $N_{Rk,c}$ werden aus der vorangegangenen Berechnung entnommen und mit dem Faktor k multipliziert. Der kleinere der so gewonnenen Werte ist $V_{Rk,cp}$. Die Auslastungsgrade sind wieder im untersten Bereich von Abbildung 4.14 dargestellt.

NACHWEIS - BETONAUSTRICH (PRYOUT)		LF1	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor k	k	2									[]
char. Wert des Widerstandes gegen Stahlversagen	$V_{Rk,p}$	47571	47571				47571				[N]
char. Widerstand gegen Betonkantenbruch	$V_{Rk,c}$	64915	64915				64915				[N]
char. Wert des Widerstandes gegen Pryout	$V_{Rk,cp}$	95143	95143				95143				[N]
Sicherheitsfaktor	γ_{Mcp}	1,50	1,50	1,35	1,50	1,50	1,50	1,35	1,50	1,50	[]
bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,cp}$	63428	63428	70476	63428	63428	63428	70476	63428	63428	[N]
bem. Wert der Einwirkung	V_{sd}	0	0	9774	4692	-3900	0	15038	7219	-6000	
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,14	0,07	0,06	0,00	0,21	0,11	0,09	[%]

Abbildung 4.14: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung Querkraft – Pryout

4.3.7 Querkraft – Betonkantenbruch

Der Nachweis wird gemäß den Erläuterungen in Kapitel 2.4.3.7 (Seite 41) geführt. Abbildung 4.15 listet alle berechneten Werte. Der Faktor k ergibt sich zu $k = 1,70$, da das Programm nur Berechnungen in gerissenem Beton durchführt. Die Auslastungsgrade für diesen Nachweis sind in der untersten Zeile von Abbildung 4.15 dargestellt.

NACHWEIS - BETONKANTENBRUCH		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Psi - Wert, Einfluss und Art der Bewehrung	$\psi_{Re,v}$	1,20									[]
Psi - Wert, unterschiedliche Querlasten pro Dübel	$\psi_{ec,v}$	1,00									[]
psi - Wert, Winkel der einwirkenden Last	$\psi_{\alpha,v}$	1,00									[]
psi - Wert, Querwiderstand nicht proportional zur Bauteildicke	$\psi_{h,v}$	2,48					1,77				[]
psi - Wert, störung des SPZ durch weitere Ränder	$\psi_{s,v}$	1,00					1,00				[]
maximale Fläche des Ausbruchskörpers	$A_{c,v}^0$	3025800					793800				[mm ²]
	$A_{c,v}$	130000					200000				[mm ²]
verfügbare Höhe (Tragwerkshöhe am Kragarm)		200					200				[mm]
verfügbare Länge (in Brückenlängsrichtung gesehen)		650					1000				[mm]
Beiwert alpha	α	0,0398					0,0556				[]
Beiwert beta	β	0,0455					0,0520				[]
	k_1	1,70									[]
ausgangswert des char. Widerstandes	$V_{Rk,c}^0$	338384					133777				[N]
char. Widerstand gegen Betonkantenbruch	$V_{Rk,c}$	43265					71786				[N]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,50	1,35	1,50	1,50	1,50	1,35	1,50	1,50	[]
bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,c}$	28843	28843	32048	28843	28843	47857	53175	47857	47857	[N]
bem. Wert der Einwirkung		0	0	19549	9384	0	0	15038	7219	0	
Auslastungsgrad		0,00	0,00	0,61	0,33	0,00	0,00	0,28	0,15	0,00	[%]

Abbildung 4.15: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung Querkraft – Betonkantenbruch

ZUSAMMENFASSUNG DER BEMESSUNGSERGEBNISSE										
		EINREIHIG	ZWEIREIHIG							
		Dübelreihe	Dübelreihe 1				Dübelreihe 2			
		LF1	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4
NACHWEISE FÜR ZUGBEANSPRUCHUNG										
STAHLVERSAGEN:		0,00	0,00	0,12	0,13	0,03	0,00	0,09	0,10	0,16
HERAUSZIEHEN und BETONAUSSBRUCH:		0,00	0,00	0,52	0,50	0,12	0,00	0,40	0,39	0,59
BETONAUSSBRUCH:		0,00	0,00	0,38	0,36	0,09	0,00	0,30	0,28	0,43
SPALTEN:		0,00	0,00	0,28	0,27	0,06	0,00	0,23	0,22	0,33
β_N		0,00	0,00	0,52	0,50	0,12	0,00	0,40	0,39	0,59
NACHWEISE FÜR QUERBEANSPRUCHUNG										
STAHLVERSAGEN, QUERLAST		0,00	0,00	0,19	0,09	0,08	0,00	0,30	0,14	0,12
BETONAUSSBRUCH (PRYOUT)		0,00	0,00	0,14	0,07	0,06	0,00	0,21	0,11	0,09
BETONKANTENBRUCH		0,00	0,00	0,61	0,33	0,00	0,00	0,28	0,15	0,00
β_V		0,00	0,00	0,61	0,33	0,08	0,00	0,30	0,15	0,12
INTERAKTIONSNACHWEIS - NORMALKRAFT - QUERKRAFT										
α		2	2	1,5	1,5	1,5	2	1,5	1,5	1,5
Genauer	$\beta_N < 1$	0,00	0,00	0,52	0,50	0,12	0,00	0,40	0,39	0,59
	$\beta_V < 1$	0,00	0,00	0,61	0,33	0,08	0,00	0,30	0,15	0,12
	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha < 1,0$	0,00	0,00	0,85	0,54	0,06	0,00	0,42	0,30	0,49

Abbildung 4.16: Beispiel HRB TZ HCR – Kern3: Berechnung Interaktion – Normalkraft – Querkraft

4.3.8 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Die Interaktion erfolgt gemäß der von ETAG Technical Report 029 vorgeschriebenen Interaktionsbedingung. Diese wurde in Kapitel 2.4.3.8 erläutert. In Abbildung 4.16 ist die Berechnung der Interaktionsbedingung in der Programmansicht dargestellt. Im oberen Bereich werden die Auslastungsgrade der einzelnen Nachweise getrennt in Zug- und Querkraftbeanspruchung angeschrieben. Jeweils der höchste Auslastungsgrad eines Einzelnachweises ergibt den Wert für β_N bzw. β_V . Danach wird der Faktor α ermittelt und die Interaktionsgleichung ausgewertet. In der letzten Zeile sind die Gesamtauslastungsgrade der Verbindung Dübel – Tragwerk aufgelistet. Aus dieser Zeile ermittelt das Programm den maßgebenden Lastfall für jede Dübelreihe. Im gegenständlichen Beispiel sind dies für die Dübelreihe 1 der Lastfall 2 (Auslastung: 0,85), sowie für Dübelreihe 2 der Lastfall 4 (Auslastung: 0,49). Die Verbindung ist somit **im Tragwerk zulässig**.

4.4 Nachweise Dübel – Randbalken

Das Tabellenblatt Kern4 beinhaltet die dazu notwendigen Nachweise. Zur besseren Programmübersicht wird die Programmansicht in dieser Arbeit ein wenig verändert. Die Nachweise der ersten Dübelreihe sind bis auf LF1 (LF1 1R) ausgeblendet, ebenso die Reservelastfälle LF5 und LF6 für den zweireihigen Bemessungsfall. Programmintern erfolgt die Berechnung normgemäß in [N] und [mm].

4.4.1 Zentrischer Zug – Stahlversagen

Die charakteristische Dübeltragfähigkeit wird aus Tabellenblatt Dat_Dübel entnommen und stammt aus der Dübelzulassung. Abbildung 4.17 zeigt den Nachweis in Programmansicht. Die Auslastungsgrade $\beta_{N,s}$ sind in der letzten Zeile der Abbildung dargestellt.

Stahlversagen des Kopfbolzens			LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
char. Wert aus Zulassung	$N_{Rk,s}$	126000										[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Ms}	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50		[]
bem. Wert des Widerstandes gegen Stahlversagen	$N_{Rd,s}$	84000	84000	126000	84000	84000	84000	126000	84000	84000		[kN]
bem. Wert der Einwirkung	N_{Ed}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269		[kN]
Ausnutzungsgrad	β_s	0,00	0,00	0,12	0,13	0,03	0,00	0,09	0,10	0,16		[]

Abbildung 4.17: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Stahlversagen

4.4.2 Zentrischer Zug – Herausziehen

Der Nachweis erfolgt analog zu Kapitel 3.4.2 jeweils für Reihe 1 und Reihe 2. Der Unterschied zu Kapitel 3.4.2 besteht nur in den Belastungen N_{Sd} , aufgrund der anderen Bemessungssituation. Die Auslastungsgrade der Verbindung sind im untersten Bereich von Abbildung 4.18 dargestellt.

Herausziehen			LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00										[]
Würfdruckfestigkeit	$f_{cwk,150}$	25,00										[N/mm ²]
Aufstandsflächen des Kopfbolzens (der Mutter)	A_n	297,70										[mm ²]
char. Bolzenpressung unter dem Bolzenkopf	p_{uk}	157,9										[kN]
char. Widerstand gegen herausziehen	$N_{Rk,p}$	47005										[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mp}	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50		[]
bem. Wert gegen herausziehen	$N_{Rd,p}$	31337	31337	47005	31337	31337	31337	47005	31337	31337		[kN]
bem. Wert der Einwirkung	N_{Ed}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269		[kN]
Ausnutzungsgrad	β_p	0,00	0,00	0,31	0,36	0,09	0,00	0,24	0,28	0,42		[]

Abbildung 4.18: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Herausziehen

4.4.3 Zentrischer Zug – Betonausbruch

Es werden zunächst die ψ Werte ermittelt (siehe Kapitel 3.4.3). Die Abmessungen der vorhandenen Ausbruchsflächen sind in der Mitte von Abbildung 4.19 ersichtlich, die Auslastungsgrade der Verbindung im untersten Bereich der Abbildung.

Betonausbruch			LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00										[]
Faktor für exzentrische Belastung	$\psi_{ec,N}$	1,00										[]
Faktor für Abplatzen der Betondeckung	$\psi_{re,N}$	1,00										[]
max. Länge des halben Ausbruchskegels	$c_{cr,N}$	225,00										[mm]
max. Länge des Ausbruchskegels	$s_{cr,N}$	450,00										[mm]
Faktor für Störung des SPZ	$\psi_{s,N}$	0,94										[]
idealisierte Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A^0_{c,N}$	202500										[mm ²]
tatsächliche Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}$	182250	171000					191250				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		450	450					450				[mm]
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		405	380					425				[mm]
Faktor lt. Hilti-Bemessungshandbuch	k_1	9,00										[]
char. Widerstand im gerissenen Beton	$N^0_{Rk,c}$	84818										[kN]
char. Widerstand eines Kopfbolzens	$N_{Rk,c}$	71756	67327					75299				[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50		[]
bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,c}$	47837	44884	56105	44884	44884	50200	62750	50200	50200		[kN]
bem. Wert der Einwirkung	N_{Ed}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269		[kN]
Auslastungsgrad	β_c	0,00	0,00	0,26	0,25	0,06	0,00	0,18	0,17	0,26		[]

Abbildung 4.19: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Betonausbruch

4.4.4 Zentrischer Zug – Spaltbruch

Dieser Nachweis wird analog zu Kapitel 3.4.4 geführt. Die Berechnung erfolgt nun für beide Dübelreihen. Abbildung 4.20 macht deutlich, dass nur jene Felder ausprogrammiert sind, die Unterschiede aufweisen können. Die Auslastungsgrade für diesen Nachweis listet die unterste Zeile in Abbildung 4.20.

Spaltbruch		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor zur Berücksichtigung der Bauteiltiefe	$\psi_{h,sp}$	1,00									[]
max. Länge des Ausbruchskegels	$s_{cr,sp}$	450									[mm]
max. Länge des halben Ausbruchskegels	$c_{cr,sp}$	225									[mm]
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00									[]
Faktor für Abplatzen der Betondeckung	$\psi_{re,N}$	1,00									[]
Faktor für exzentrische Belastung	$\psi_{ec,N}$	1,00									[]
Faktor für Störung des SPZ	$\psi_{s,N}$	0,94									[]
idealisierte Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}^0$	202500									[mm ²]
tatsächliche Ausbruchsfläche des Einzeldübels	$A_{c,N}$	182250	171000				191250				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		450	450				450				[mm]
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		405	380				425				[mm]
char. Widerstand im gerissenen Beton	$N_{RK,c}^0$	84818									[kN]
char. Widerstand eines Kopfbolzens	$N_{RK,sp}$	71756	67327				75299				[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Msd}	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	[]
bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,sp}$	47837	44884	56105	44884	44884	50200	62750	50200	50200	[kN]
bem. Wert der Einwirkung	N_{sd}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269	[kN]
Auslastungsgrad	β_c	0,00	0,00	0,26	0,25	0,06	0,00	0,18	0,17	0,26	[]

Abbildung 4.20: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Spaltbruch

4.4.5 Zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch

Zuerst werden sämtliche Beiwerte (ψ -Werte) angeschrieben. Dies erfolgt analog zu den Ausführungen in Kapitel 3.4.5. Sämtliche Berechnungsschritte sind in Abbildung 4.21 in der Programmansicht dargestellt.

lokaler Betonausbruch		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor zur Erfassung der Störung des SPZ	$\psi_{s,Nb}$	1,00									[]
Faktor berücksichtigt gerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00									[]
Faktor berücksichtigt eine Bolzengruppe	$\psi_{ec,Nb}$	1,00									[]
Faktor die Lastfläche eines Einzelbolzens einer Gr.	$\psi_{e,Nb}$	1,00									[]
Faktor zur Erfassung der Störung des SPZ	$\psi_{s,Nb}$	1,00									[]
idealisierte Fläche des Ausbruchskörpers	$A_{c,Nb}^0$	202500									[mm ²]
vorhandene Fläche des Ausbruchskörpers	$A_{c,Nb}$	141750	45563				50625				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		450	225				225				[mm]
vorhandene Breite (in Brückenquerrichtung)		315	203				225				[mm]
char. Widerstand bei großen Randabständen	$N_{RK,cb}^0$	127456	127456				127456				[kN]
char. Widerstand eines Einzelbolzens	$N_{RK,cb}$	89219	28678				31864				[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	[]
bem. Wert des Widerstandes	$N_{Rd,cb}$	59479	19118	23898	19118	19118	21243	26553	21243	21243	[kN]
bem. Wert der Einwirkung	N_{sd}	0	0	14671	11252	2677	0	11424	8762	13269	[kN]
Auslastungsgrad	β_c	0,00	0,00	0,61	0,59	0,14	0,00	0,43	0,41	0,62	[]

Abbildung 4.21: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – lokaler Betonausbruch

4.4.6 Querkraft – Stahlversagen ohne Hebelarm

Dieser Nachweis erfolgt analog zu dem in Kapitel 3.4.6 diskutierten Nachweis. Die zulässige charakteristische Dübelkraft wird Tabellenblatt `Dat_Dübel` entnommen und entstammt der Dübelzulassung. Die Berechnungsschritte sowie die Auslastungsgrade für die jeweiligen Lastfälle sind in Abbildung 4.22 dargestellt.

Stahlversagen Kopfbolzen ohne Hebelsarm		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
char. Zulässige Querkraft je Dübel	$V_{Rk,s}$	63000									[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,25	1,25	1,00	1,25	1,25	1,25	1,00	1,25	1,25	[]
bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,s}$	50400	50400	63000	50400	50400	50400	63000	50400	50400	[kN]
bem. Wert der Einwirkung	V_{Sd}	0	0	9774	4692	-3900	0	15038	7219	-6000	[kN]
Auslastungsgrad	β_s	0,00	0,00	0,16	0,09	0,08	0,00	0,24	0,14	0,12	[]

Abbildung 4.22: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung Querkraft – Stahlversagen

4.4.7 Querkraft – Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)

Der Nachweis gegen Pryout erfolgt analog zu dem in Kapitel 3.4.7 beschriebenen Nachweis. Die Programmansicht für das gegenständliche Beispiel ist in Abbildung 4.23 dargestellt.

Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout)		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor für Pryoutwiderstand	k_d	2									[]
char. Widerstand gegen Betonausbruch	$N_{Rk,c}$	71756	71756	71756	71756	71756	75299	75299	75299	75299	[kN]
char. Widerstand gegen Pryout	$V_{Rk,cp}$	143512	143512	143512	143512	143512	150599	150599	150599	150599	[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,50	1,2	1,50	1,50	1,50	1,2	1,50	1,50	[]
bem. Wert des Widerstandes	$V_{Rd,cp}$	95675	95675	119593	95675	95675	100399	125499	100399	100399	[kN]
bem. Wert der Einwirkung	V_{Sd}	0	0	9774	4692	-3900	0	15038	7219	-6000	[kN]
Auslastungsgrad	β_{cp}	0,00	0,00	0,08	0,05	0,04	0,00	0,12	0,07	0,06	[]

Abbildung 4.23: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung zentrischer Zug – Pryout

4.4.8 Querkraft – Betonkantenbruch

Abbildung 4.24 enthält die Programmansicht des Nachweises gegen Betonkantenbruch. Der Faktor $\psi_{h,V}$ wird separat für Reihe 1 sowie Reihe 2 berechnet, da die Bauteildicke an der jeweiligen Dübelposition berücksichtigt ist. Die Ermittlung der Ausbruchsflächen erfolgt wie in Kapitel 3.4.8 beschrieben.

Betonkantenbruch		LF1 1R	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4	
Faktor für gerissenen oder ungerissenen Beton	$\psi_{ucr,N}$	1,00									[]
Faktor für Exzentrizität der Resultierenden	$\psi_{ec,V}$	1,00									[]
Winkel zwischen Lastangriffsrichtung u. Rand	$\psi_{\alpha,V}$	1,00									[]
Faktor für Bauteildicke	$\psi_{h,V}$	1,03					1,52				[]
Störung des SPZ	$\psi_{s,V}$	1,00									[]
idealisierte Fläche des Ausbruchs Körpers	$A_{c,V}^0$	145800					1513800				[mm ²]
tatsächliche Fläche des Ausbruchs Körpers	$A_{c,V}$	135000	135000				250000				[mm ²]
vorhandene Länge (in Brückenlängsrichtung)		540	540				1000				[mm]
vorhandene Höhe		250	250				250				[mm]
char. Widerstand eines Einzelbolzens	$V_{Rk,c}$	34889					201798				[kN]
char. Widerstand gegen Betonkantenbruch	$V_{Rk,c}$	33144	33144				50503				[kN]
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mc}	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	1,50	1,20	1,50	1,50	[]
bem-Wert gegen Betonkantenbruch	$V_{Rd,c}$	22096	22096	27620	22096	22096	33668	42086	33668	33668	[kN]
bem. Wert der Einwirkung	V_{Sd}	0	0	9774	4692	0	0	30075	14438	0	[kN]
Ausnutzungsgrad	β_c	0,00	0,00	0,35	0,21	0,00	0,00	0,71	0,43	0,00	[]

Abbildung 4.24: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung Querkraft – Betonkantenbruch

4.4.9 Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Die Interaktion zwischen Normal- und Querkraft erfolgt für jede Dübelreihe separat, analog zu den Ausführungen in Kapitel 3.4.9. Der maßgebende Lastfall ist für Dübel-

reihe 1 sowie Dübelreihe 2 jeweils LF2. In Anhang B befindet sich der vollständige Programmausdruck für dieses Beispiel. Abbildung 4.25 zeigt alle berechneten Werte.

Zusammenfassung der Bem-Ergebnisse		EINREIHIG	ZWEIREIHIG							
Nachweise für NORMALKRAFTBEANSPRUCHUNG		Dübelreihe	Dübelreihe 1				Dübelreihe 2			
Stahlversagen des Kopfbolzens		0,00	0,00	0,12	0,13	0,03	0,00	0,09	0,10	0,16
Herausziehen		0,00	0,00	0,31	0,36	0,09	0,00	0,24	0,28	0,42
Betonausbruch		0,00	0,00	0,26	0,25	0,06	0,00	0,18	0,17	0,26
Spaltbruch		0,00	0,00	0,26	0,25	0,06	0,00	0,18	0,17	0,26
lokaler Betonausbruch		0,00	0,00	0,61	0,59	0,14	0,00	0,43	0,41	0,62
β_N		0,00	0,00	0,61	0,59	0,14	0,00	0,43	0,41	0,62
Nachweise bei QUERKRAFTBEANSPRUCHUNG										
Stahlversagen ohne Hebelsarm		0,00	0,00	0,16	0,09	0,08	0,00	0,24	0,14	0,12
Betonausbruch auf Lastabgewandter Seite		0,00	0,00	0,08	0,05	0,04	0,00	0,12	0,07	0,06
Betonkantenbruch		0,00	0,00	0,35	0,21	0,00	0,00	0,71	0,43	0,00
β_V		0,00	0,00	0,35	0,21	0,08	0,00	0,71	0,43	0,12
Interaktionsnachweis N-V		LF1	LF1	LF2	LF3	LF4	LF1	LF2	LF3	LF4
α		2	2	1,5	1,5	1,5	2	1,5	1,5	1,5
β_N		0,00	0,00	0,61	0,59	0,14	0,00	0,43	0,41	0,62
β_V		0,00	0,00	0,35	0,21	0,08	0,00	0,71	0,43	0,12
$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha < 1,0$		0,00	0,00	0,69	0,55	0,07	0,00	0,89	0,55	0,53

Abbildung 4.25: Beispiel HRB TZ HCR – Kern4: Berechnung Interaktion – Normalkraft – Querkraft

Kapitel 5

Zusammenfassung

Im Zuge der gegenständlichen Diplomarbeit wurde das Bemessungsprogramm für Randbalkenbefestigungen HILTI RANDBALKEN entwickelt. Es ist in MS Excel programmiert und verzichtet dabei komplett auf Makros und VBA-Code, um die Akzeptanz bei den Benutzern zu erhöhen. Dies gewährleistet auch eine universellere Einsetzbarkeit.

Der sehr strukturierte Aufbau des Programms sowie die Bezeichnung der Zellnamen orientieren sich an der von Reinhold Scheck vorgeschlagenen rS1-Methode [4]. Somit wird die Wartung eines so komplexen Programmes überhaupt erst ermöglicht und gleichzeitig sehr vereinfacht. Mit einem minimalen Wartungsaufwand kann nun die Firma Hilti neue Produkte in die Software integrieren.

Die Sichtbarkeit der vorhandenen Tabellenblätter ist für drei Personengruppen vorgesehen. Der Benutzer sieht nur Eingabe- sowie Ausgabeblätter und wird intuitiv durch die Eingabe geführt. Erklärende Skizzen passen sich aufgrund der gewählten Optionen dynamisch an und unterstützen die Benutzer. Abbildung 5.1 zeigt die benutzerfreundliche und intuitive Eingabe für ein Beispiel des Dübel systems BAD HVZ HCR. Eingabekontrollen verhindern zudem unzulässige Eingaben und weisen im Bedarfsfall durch deutlich sichtbare Markierungen auf die zu verändernden Eingabewerte hin. Direkt unter den Eingaben sind alle Lastfälle mit aktuellen Auslastungsgraden dargestellt. Das Programm ermöglicht somit eine rasche Ergebnisfindung. Für jedes Dübel system gibt es ein eigenes Ausgabeblatt mit einer druckfertigen Ausgabe der Berechnung sowie ein eigenes Tabellenblatt mit einem angepassten Ausschreibungstext. Die Navigation zwischen diesen Tabellenblättern erfolgt benutzerfreundlich über Schaltflächen.

Mitarbeiter der Firma Hilti sind für die Wartung und Aktualisierung der Datenblätter der verwendbaren Dübeltypen, der Rückhaltesysteme, der Lärmschutzwände sowie der Betone zuständig. Daher haben sie zusätzlich zu den Eingabe- und Ausgabeblättern auch Zugriff auf die entsprechenden Datenblätter. Sie enthalten eine einfache Anleitung zum Hinzufügen neuer Datensätze. Bei entsprechender Eingabe passt sich der Rest des Programms automatisch an die neuen Datensätze an.

In speziellen Tabellenblättern befinden sich sämtliche Berechnungen. Diese sind nur

für qualifizierte Programmierer sichtbar. Der Aufbau dieser Tabellenblätter ist streng modular gewählt, sodass einzelne Bereiche gegebenenfalls neu programmiert werden können, ohne die restliche Programmierung zu beeinflussen.

Das Programm HILTI RANDBALKEN beinhaltet alle erforderlichen Nachweise der entsprechenden aktuell gültigen Normen, Richtlinien und Zulassungen für die Dübel-systeme BAD HVZ HCR (fixe Verankerungslänge) und HRB TZ HCR (variable Verankerungslänge). Je ein Berechnungsbeispiel für jedes der beiden Dübel-systeme enthält einerseits die erforderlichen Nachweise und illustriert andererseits die Anwendung sowie die Berechnungen des Programms HILTI RANDBALKEN.

Das im Zuge dieser Diplomarbeit erstellte Programm kann von der Website der Firma Hilti (www.hilti.at) unter *Service/Downloads* im Bereich *Planen und Spezifizieren* kostenlos heruntergeladen werden. Das Programm HILTI RANDBALKEN wird seit Ende 2010 intensiv von den Kunden der Firma Hilti verwendet und beweist dabei die Praxistauglichkeit sowie die Benutzerfreundlichkeit.

The screenshot displays the HILTI RANDBALKEN software interface. At the top, there are navigation tabs for different components: DÜBELSYSTEM (selected), DÜBELABMESSUNGEN, DÜBELREIHEN, RÜCKHALTESYSTEM, and LÄRMSCHUTZWAND. Below these are dropdown menus for 'HRB TZ HCR', 'M16 x 300', 'zwei Dübelreihen', 'Kremsbarrier 3 R H2', and 'LSW vorhanden'. The main interface is divided into several sections:

- TRAGWERK:** Concrete strength (c30/37), Reinforcement (gerade Randbewehrung (≥Ø12mm)).
- RANDBALKEN:** Concrete strength (c20/25), Reinforcement (Rand- u. engmaschige Aufhängebewehrung (a≤100 mm)).
- GEOMETRIE:** Input fields for dimensions like $B_{RB,PL}$ (1000 mm), $B_{RB,BA}$ (200 mm), H_T (300 mm), $H_{T,KR}$ (200 mm), $H_{RB,PL}$ (250 mm), $H_{RB,BA}$ (400 mm), and d (10 mm).
- BELASTUNGEN:** Input fields for N_{Ek} , H_{Ek} , M_{Ek} (all 0), and H (40,00 kN), M (25,00 kNm), e (1,33 m).
- LÄRMSCHUTZWAND:** Input fields for H_{LSW} (3200 mm), C_{LSW} (900 mm), w_k (2,50 kN/m²), and $\beta_{LSW,k}$ (4,00 kN/m).
- VERDÜBELUNG:** Input fields for C_{RB} (180 mm), s_1 (650 mm), s_2 (1000 mm), a (400 mm), and H_{ef} (130 mm).
- TEILSICHERHEITSEIWERTE MATERIALSEITE:** A dropdown menu set to 'Teilsicherheitsbeiwerte außergewöhnliche Belastung'.

Technical diagrams are shown on the right side, including a cross-section of the wall with reinforcement details and a plan view of the reinforcement layout. A green bar at the bottom indicates 'Verankerung ist zulässig'. Navigation buttons at the bottom include 'zum Ausschreibungstext =>' and 'weiter zur Ausgabe =>'.

Abbildung 5.1: Programm HILTI RANDBALKEN – Tabellenblatt Eingabe

Literaturverzeichnis

- [1] EOTA, „*Leitlinie für die europäische technische Zulassung*“, Annex C „*Bemessungsverfahren für Verankerungen*“, EOTA, Brussels, Juni 1997 (3rd Amendment August 2010)
- [2] EOTA, *Technical Report „Bemessung von Verbunddübeln“*, TR029, EOTA, Brussels, Juni 2007
- [3] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, *Richtlinie „Konstruktive Stahleinbauteile in Beton und Stahlbeton“*, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, November 2006
- [4] R. Scheck, *Das Excel Profiseminar*, Microsoft Press Deutschland, Unterschleißheim, 2009
- [5] R. Eligehausen, R. Mallee, J. F. Silva, *Anchorage in Concrete Construction*, Ernst & Sohn, Berlin, 2006
- [6] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, *Europäisch Technische Zulassung ETA-03/0032*, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, September 2008
- [7] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, *Europäisch Technische Zulassung ETA-07/0260*, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, November 2007
- [8] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, *Europäisch Technische Zulassung ETA-07/0260*, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Oktober 2009

Anhang **A**

Beispielausdruck zu Kapitel 3



Planer		Telefon	
Bearbeiter		Mobil	
Projektbez.		Fax	
Projekt Nr.		Email	
Lastfall		Datum	22.1.2011

RANDBALKENVERANKERUNG - EINE DÜBELREIHE

EINGABEWERTE

RANDBALKEN	
Betongüte	C20/25
Bewehrung	Rand- u. engmaschige Aufhängebewehrung ($a \leq 100$ mm)
Randbalkenqualität	gerissen
$B_{RB,PL}$	1000 [mm]
$B_{RB,BA}$	200 [mm]
$H_{RB,PL}$	250 [mm]
$H_{RB,BA}$	400 [mm]
d	10 [mm]

TRAGWERK	
Betongüte	C30/37
Bewehrung	keine Rand- oder Aufhängebewehrung
Untergrundqualität	gerissen
H_T	300 [mm]
$H_{T,KR}$	200 [mm]

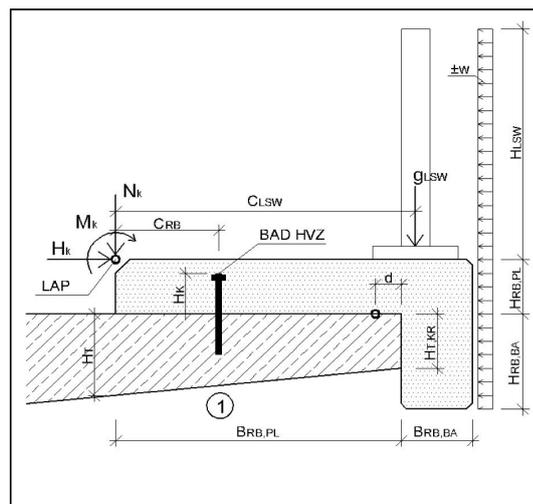
VERDÜBELUNG	
Typ	BAD HVZ HCR M16 x 105/300
C_{RB}	500 [mm]
s1	550 [mm]

LASTEINGABE	
N_{Ek}	0,00 [kN]
H_{Ek}	0,00 [kN]
M_{Ek}	0,00 [kNm]

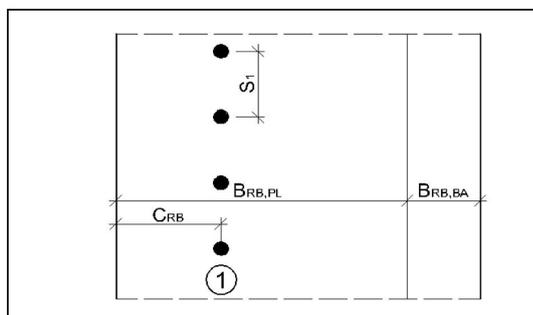
RÜCKHALTESYSTEM
- kein Rückhaltesystem -

LÄRMSCHUTZWAND	
C_{LSW}	900 [mm]
H_{LSW}	4000 [mm]
w	2,00 [kN/m ²]
g_{LSW}	5,00 [kN/m]

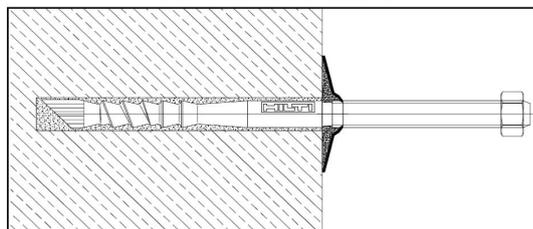
SCHNITT - RANDBALKEN



DRAUFSICHT - RANDBALKEN



VERANKERUNGSELEMENT



BAD HVZ HCR M16 x 105/300
Verankerung ist zulässig

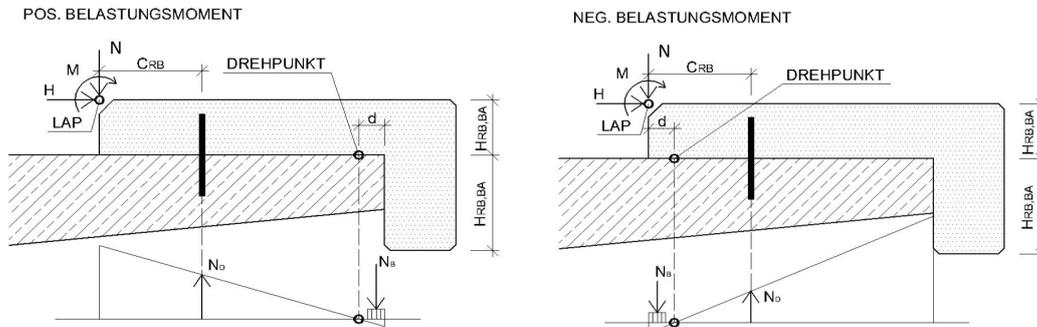


BERECHNUNGSERGEBNISSE - ÜBERSICHT				
BELASTUNG				
	Lastfall	H [kN/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
Reihe1: Belastung um LAP	LF3	13,95	19,58	38,49
	Lastfall	H [kN]	N [kN]	
Reihe 1: Last je Dübel	LF3	7,67	24,92	
AUSNUTZUNGSGRAD - TRAGWERK		AUSNUTZUNGSGRAD - RANDBALKEN		
NORMALKRAFTAUSNUTZUNG		NORMALKRAFTAUSNUTZUNG		
	Reihe 1		Reihe 1	
Lastfall	LF3	Lastfall	LF3	
STAHLVERSAGEN:	0,42	STAHLVERSAGEN:	0,42	
HERAUSZIEHEN:	-	HERAUSZIEHEN:	0,80	
BETONAUSBRUCH:	0,79	BETONAUSBRUCH:	0,38	
SPALTEN:	0,71	SPALTEN:	0,38	
		LOK. BETONAUSBR.:	0,11	
β_N	0,79	β_N	0,80	
QUERKRAFTAUSNUTZUNG		QUERKRAFTAUSNUTZUNG		
	Reihe 1		Reihe 1	
Lastfall	LF3	Lastfall	LF3	
STAHLVERSAGEN:	0,17	STAHLVERSAGEN:	0,17	
PRYOUT:	0,12	PRYOUT:	0,06	
BETONKANTENBRUCH:	0,41	BETONKANTENBRUCH:	0,40	
β_H	0,41	β_H	0,40	
N - V INTERAKTION - TRAGWERK		N - V INTERAKTION - RANDBALKEN		
	Reihe 1		Reihe 1	
Lastfall	LF3	Lastfall	LF3	
α	1,50	α	1,50	
$\beta_N^\alpha + \beta_H^\alpha < 1,0$	0,96	$\beta_N^\alpha + \beta_H^\alpha < 1,0$	0,96	
AUSNUTZUNG TRAGWERK - GRAFISCH		AUSNUTZUNG RANDBALKEN - GRAFISCH		

BERECHNUNGSERGEBNISSE - DETAIL				
LASTAUFSTELLUNG	[kN/m]		[kN/m]	[kNm/m]
Eigengewicht Randbalken				
H=	0,00	N=	9,50	M= 6,70
Lasten aus manueller Lasteingabe				
H=	0,00	N=	0,00	M= 0,00
Lasten aus Rückhaltesystem				
H=	0,00	N=	0,00	M= 0,00
Lasten aus Lärmschutzwand				
EG LSW	H= 0,00	N=	5,00	M= 4,50
Wind v. l.	H= 9,30	N=	0,00	M= 15,58
Wind v. r.	H= -8,00	N=	0,00	M= -16,00
LASTFALLÜBERLAGERUNG				
LF1: Eigengewicht & händische Lasteingabe				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,35
Eigengewicht LSW	0,00	5,00	4,50	1,35
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,35
Belastung im LF1:	0,00	19,58	15,12	
LF2: Eigengewicht & händisch + Anprall				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,00
Eigengewicht LSW	0,00	5,00	4,50	1,00
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,00
Anprallast	0,00	0,00	0,00	1,00
Belastung im LF2:	0,00	14,50	11,20	
LF3: Eigengewicht & händisch + Wind von links				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,35
Eigengewicht LSW	0,00	5,00	4,50	1,35
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,35
Wind "von links"	9,30	0,00	15,58	1,50
Belastung im LF3:	13,95	19,58	38,49	
LF4: Eigengewicht & händisch + Windlast von rechts				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,35
Eigengewicht LSW	0,00	5,00	4,50	1,35
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,35
Wind "von rechts"	-8,00	0,00	-16,00	1,50
Belastung im LF4:	-12,00	19,58	-8,88	

TRANSFORMATION IN DÜBELLASTEN

Die in den Lastfällen 1 bis 4 ermittelten Lasten je Meter Brücke, werden in Dübellasten umgerechnet. Dabei wird der Drehpunkt je nach Belastung automatisch links oder rechts gewählt.



Lastfall	Drehpunkt	Lasten um Bezugspunkt LAP		
		H [kN/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
LF1	rechts	0,00	19,58	15,12
LF2	rechts	0,00	14,50	11,20
LF3	rechts	13,95	19,58	38,49
LF4	links	-12,00	19,58	-8,88

Dübelabstand Reihe 1 = 550 mm => 1,82 Stk/m

Dübellasten für die Bemessung

Lastfall	Dübellasten Reihe 1	
	N [kN/Stk]	H [kN/Stk]
LF1	0,00	0,00
LF2	0,00	0,00
LF3	24,92	7,67
LF4	13,26	-6,60

Nachweise - Tragwerk
maximale Beanspruchung für Dübelreihe 1 entsteht im LF3

Nachweise - Randbalken
maximale Beanspruchung für Dübelreihe 1 entsteht im LF3

Die Detailnachweise sind nur für den Lastfall mit maximaler Auslastung dargestellt.

NACHWEISE - TRAGWERK

NORMALKRAFTBEANSPRUCHUNG

Stahlversagen:

Reihe 1

$N_{Rk,s}$	90,00	[kN]	Charakteristische Zugkrafttragfähigkeit lt. Dübelzulassung
γ_{Ms}	1,50	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,s}$	60,00	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,s}$	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,s}$	0,42	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlzugversagen

Herausziehen:

 $N_{Rk,p}$ Der Nachweis gegen Herausziehen ist lt. Zulassung nicht maßgebend!

Betonausbruch:

$\psi_{ucr,N}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4f, Glg. 5.2g
$\psi_{ec,N}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4e, Glg. 5.2e
$\psi_{re,N}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4d, Glg. 5.2d
$\psi_{s,N}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4c, Glg. 5.2c
$A_{c,N}^0$	99225	[mm ²]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4b, Glg. 5.2.b, Bild 5.1
$A_{c,N}$	99225	[mm ²]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4b
$l_{längs}$	315	[mm]	vgl. ETAG, Annex C, 5.2.2.4b, Bild 5.2a
l_{quer}	315	[mm]	vgl. ETAG, Annex C, 5.2.2.4b, Bild 5.2a
$N_{Rk,c}^0$	47,12	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4a, Glg. 5.2a
$N_{Rk,c}$	47,12	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4, Glg. 5.2
γ_{Mc}	1,50	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,c}$	31,41	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,c}$	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,c}$	0,79	[]	Ausnutzungsgrad - Betonausbruch

Spalten bei Belastung:

$\psi_{ucr,Sp}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4f, Glg. 5.2g
$\psi_{ec,Sp}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4e, Glg. 5.2e
$\psi_{re,Sp}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4d, Glg. 5.2d
$\psi_{s,Sp}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4c, Glg. 5.2c
$\psi_{h,Sp}$	1,12	[]	ETAG, Annex C, 5.2.2.6b, Glg. 5.3a
$A_{c,Sp}^0$	99225	[mm ²]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4b, Glg. 5.2.b, Bild 5.1
$A_{c,Sp}$	99225	[mm ²]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4b
$l_{längs}$	99225	[mm]	vgl. ETAG, Annex C, 5.2.2.4b, Bild 5.2a
l_{quer}	99225	[mm]	vgl. ETAG, Annex C, 5.2.2.4b, Bild 5.2a
$N_{Rk,Sp}^0$	47,12	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.2.4a, Glg. 5.2a
$N_{Rk,Sp}$	52,93	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.2.6b, Glg. 5.3
$\gamma_{Mc,sp}$	1,50	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,sp}$	35,29	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,sp}$	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,sp}$	0,71	[]	Ausnutzungsgrad - Spalten bei Belastung

NACHWEISE - TRAGWERK

QUERKRAFTBEANSPRUCHUNG

Stahlversagen (Querlast ohne Hebelsarm):

Reihe 1

$H_{RK,s}$	56,00	[kN]	Charakteristische Quertragfähigkeit lt. Dübelzulassung
$\gamma_{RK,s}$	1,25	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$H_{RD,s}$	44,80	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	7,67	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,s}$	0,17	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlversagen Querlast

Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pryout - Versagen):

$N_{RK,c}$	47,12	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.2.6b, Glg. 5.3
k	2,00	[]	Faktor lt. Zulassung
$H_{RK,cp}$	94,24	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3, Glg. 5.6
γ_{Mcp}	1,50	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$H_{RD,s}$	62,83	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	7,67	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,cp}$	0,12	[kN]	Ausnutzungsgrad - Pryout

Betonkantenbruch:

$\psi_{ucr,H}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3g
$\psi_{ec,H}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3f, Glg. 5.7f
$\psi_{\alpha,H}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3e, Glg. 5.7e
$\psi_{h,H}$	1,73	[]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3d, Glg. 5.7d
$\psi_{s,H}$	1,00	[]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3c, Glg. 5.7.c
$A_{c,H}^0$	1125000	[mm ²]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3b, Glg. 5.7.b
$A_{c,H}$	110000	[mm ²]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3b
$l_{längs}$	550	[mm]	vgl. ETAG, Annex C, 5.2.3.3b, Bild 5.6a
$h_{längs}$	200	[mm]	vgl. ETAG, Annex C, 5.2.3.3b, Bild 5.6a
α	0,046	[]	
β	0,051	[]	
$H_{RK,c}^0$	167,68	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3a, Glg. 5.7a
$H_{RK,c}$	28,40	[kN]	ETAG, Annex C, 5.2.3.3
γ_{Mc}	1,50	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$H_{RD,c}$	18,93	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	15,35	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,c}$	0,41	[]	Ausnutzungsgrad - Betonkantenbruch

INTERAKTIONSNACHWEIS NORMALKRAFT - QUERKRAFT

Reihe 1

β_N	0,79	max. Auslastungsgrad aus Normalkraftbeanspruchung
β_H	0,41	max. Auslastungsgrad aus Querkraftbeanspruchung
α	1,50	ETAG, Annex C, 5.2.4
$(\beta_N)^\alpha + (\beta_H)^\alpha$	0,96	ETAG, Annex C, 5.2.4, Glg. 5.9

Die gewählte Verankerung im Tragwerk ist zulässig!

NACHWEISE - RANDBALKEN

NORMALKRAFTBEANSPRUCHUNG

Stahlversagen:

	Reihe 1		
$N_{Rk,s}$	90,00	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Glg. 5.4
γ_{Ms}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Abb. 5.9
$N_{Rd,s}$	60,00	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
N_{Sd}	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,s}$	0,42	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlversagen

Herausziehen:

$\psi_{ucr,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, 5.1.2.4.3
$f_{cw,150}$	25	[N/mm ²]	Würfeldruckfestigkeit
A_h	298	[mm ²]	Aufstandsfläche der Mutter
p_{uk}	157,9	[N/mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Glg. 5.6
$N_{Rk,p}$	47,01	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Glg. 5.5
γ_{Mp}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Abb. 5.9
$N_{Rd,p}$	31,34	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
N_{Sd}	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,p}$	0,80	[]	Ausnutzungsgrad - Herausziehen

Betonausbruch:

$\psi_{ucr,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\psi_{ec,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.12
$\psi_{re,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.11
$c_{cr,N}$	248	[mm]	halbe idealisierte Länge des Ausbruchskegels
$s_{cr,N}$	495	[mm]	Länge des idealisierten Ausbruchskegels
$\psi_{s,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.10
$A_{c,N}^0$	245025	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$A_{c,N}$	245025	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$l_{längs}$	495	[mm]	vorh. Länge des Ausbruchskegels
l_{quer}	495	[mm]	vorh. Breite des Ausbruchskegels
k_1	9,00	[]	Faktor lt. Hilti Bemessungshandbuch
$N_{Rk,c}^0$	97,85	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.9
$N_{Rk,c}$	97,85	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.8
γ_{Mc}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$N_{Rd,c}$	65,24	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
N_{Sd}	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,c}$	0,38	[]	Ausnutzungsgrad - Betonausbruch

NACHWEISE - RANDBALKEN

Spaltbruch:	Reihe 1		
$\Psi_{h,sp}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.15
$S_{cr,sp}$	495	[mm]	idealisierte Länge des Ausbruchskegels
$C_{cr,sp}$	248	[mm]	halbe idealisierte Länge Ausbruchskegels
$\Psi_{ucr,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\Psi_{re,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.11
$\Psi_{ec,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.12
$\Psi_{s,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.10
$A_{c,N}^0$	245025	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$A_{c,N}$	245025	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$l_{längs}$	495	[mm]	vorh. Länge des Ausbruchskegels
l_{quer}	495	[mm]	vorh. Breite des Ausbruchskegels
$N_{Rk,c}^0$	97,85	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.9
$N_{Rk,sp}$	97,85	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.8
γ_{Msp}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$N_{Rd,sp}$	65,24	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
N_{Sd}	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,sp}$	0,38	[]	Ausnutzungsgrad - Spaltbruch
lokaler Betonausbruch:			
$\Psi_{s,Nb}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.18
$\Psi_{ucr,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\Psi_{ec,Nb}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.20
$\Psi_{g,Nb}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.19
$A_{c,Nb}^0$	245025	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.6
$A_{c,Nb}$	245025	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.6
$l_{längs}$	495	[mm]	vorh. Länge des Ausbruchskegels
l_{quer}	495	[mm]	vorh. Breite des Ausbruchskegels
$N_{Rk,cb}^0$	354,04	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.17
$N_{Rk,cb}$	354,04	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.16
γ_{Mc}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$N_{Rd,cb}$	236,03	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
N_{Sd}	24,92	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,cb}$	0,11	[]	Ausnutzungsgrad - lokaler Betonausbruch
QUERKRAFTBEANSPRUCHUNG			
Stahlversagen (Querlast ohne Hebelsarm):	Reihe 1		
$H_{Rk,s}$	56,00	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.1
γ_{Mc}	1,25	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$H_{Rd,s}$	44,80	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	7,67	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,s}$	0,17	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlversagen Querlast

NACHWEISE - RANDBALKEN

Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout):

k_4	2,00	[]	
$N_{Rk,c}$	97,85	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$H_{Rk,cp}$	195,71	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.24
γ_{Mc}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$H_{Rd,cp}$	130,47	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	7,67	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,cp}$	0,06	[]	Ausnutzungsgrad - Pryout

Betonkantenbruch:

$\psi_{ucr,N}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\psi_{ec,H}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.4
$\psi_{\alpha,H}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.34
$\psi_{h,H}$	1,44	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.33
$\psi_{s,H}$	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.32
$A_{e,H}^0$	1125000	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.4
$A_{c,H}$	137500	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.4
$l_{\text{längs}}$	550	[mm]	vorhandene Ausbruchslänge
$h_{\text{längs}}$	250	[mm]	vorhandene Ausbruchshöhe
$H_{Rk,c}^0$	164,63	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.26
$H_{Rk,c}$	29,02	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.25
γ_{Mc}	1,50	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$H_{Rd,c}$	19,35	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	76,73	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,c}$	0,40	[]	Ausnutzungsgrad - Betonkantenbruch

INTERAKTIONSNACHWEIS NORMALKRAFT - QUERKRAFT

Reihe 1

β_N	0,80	max. Auslastungsgrad aus Normalkraftbeanspruchung
β_H	0,40	max. Auslastungsgrad aus Querkraftbeanspruchung
α	1,50	RL - Betoneinbauteile, 5.1.2.6.2
$(\beta_N)^\alpha + (\beta_H)^\alpha$	0,96	RL - Betoneinbauteile, Glg. 5.42, Glg. 5.46

Die gewählte Verankerung im Randbalken ist zulässig!

DISCLAIMER

Diese Software unterstützt den Planer bei der Bemessung von Randbalkenverdübelungen auf Brückentragwerken. Dieses Programm ist als reines Hilfsmittel für den Anwender zu verstehen, ohne Garantie auf Fehlerlosigkeit oder auf Richtigkeit und Genauigkeit. Die endgültige Auswahl der Befestigungsmittel ist daher auf Plausibilität zu prüfen. Dies kann zweckdienlicherweise mit dem Hilti Dübelbemessungsprogramm Profis Anchor (ab Version 2.0) oder mit dem Hilti Handbuch der Befestigungstechnik (Ausgabe 2010) erfolgen. Für Eingabe und Ergebnis haftet der Anwender und/oder der projektierende Ingenieur. Bei Fragen zum vorliegenden Bemessungsprogramm steht Ihnen das Hilti Engineering unter der kostenlosen Rufnummer: 0800/818100 für Rückfragen gerne zur Verfügung.

Hilti Randbalken Version 1.0.2 (November 2010) © Hilti Austria Gesellschaft m.b.H.

Anhang **B**

Beispielausdruck zu Kapitel 4



Planer		Telefon	
Bearbeiter		Mobil	
Projektbez.		Fax	
Projekt Nr.		Email	
Lastfall		Datum	25.1.2011

RANDBALKENVERANKERUNG - ZWEI DÜBELREIHEN

EINGABEWERTE

RANDBALKEN	
Betongüte	C20/25
Bewehrung	Rand- u. engmaschige Aufhängebewehrung (a ≤ 100 mm)
Randbalkenqualität	gerissen
$B_{RB,PL}$	1000 [mm]
$B_{RB,BA}$	200 [mm]
$H_{RB,PL}$	250 [mm]
$H_{RB,BA}$	400 [mm]
d	10 [mm]

TRAGWERK	
Betongüte	C30/37
Bewehrung	gerade Randbewehrung (≥ Ø12mm)
Untergrundqualität	gerissen
H_T	300
$H_{T,KR}$	200

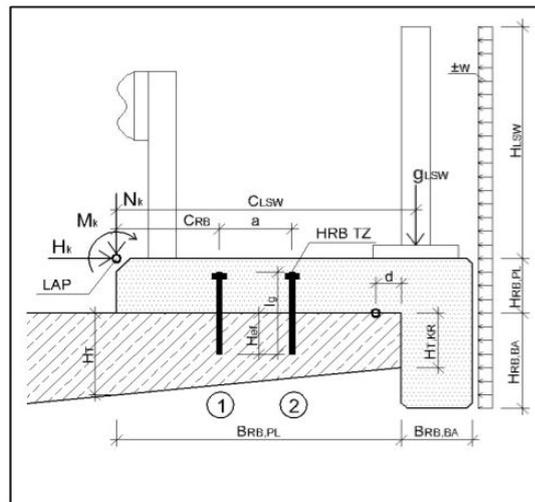
VERDÜBELUNG	
Typ	HRB TZ M16 x 300
H_{ef}	130 [mm]
C_{RB}	180 [mm]
s1	650 [mm]
s2	1000 [mm]
a	400 [mm]

LASTEINGABE	
N_{Ek}	0,00 [kN]
H_{Ek}	0,00 [kN]
M_{Ek}	0,00 [kNm]

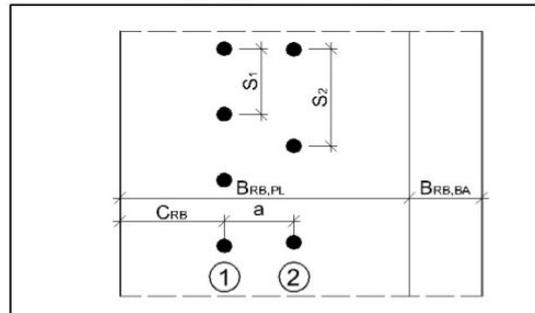
RÜCKHALTESYSTEM	
Kremsbarrier 3 R H2	

LÄRMSCHUTZWAND	
C_{LSW}	900 [mm]
H_{LSW}	3200 [mm]
w	2,50 [kN/m ²]
g_{LSW}	4,00 [kN/m]

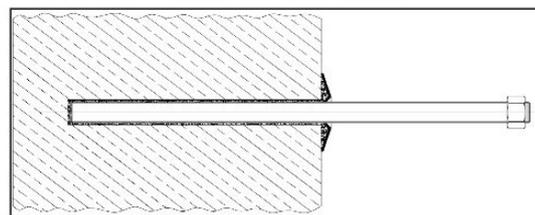
SCHNITT - RANDBALKEN



DRAUFSICHT - RANDBALKEN



VERANKERUNGSELEMENT



HRB TZ M16 x 300
Verankerung ist zulässig



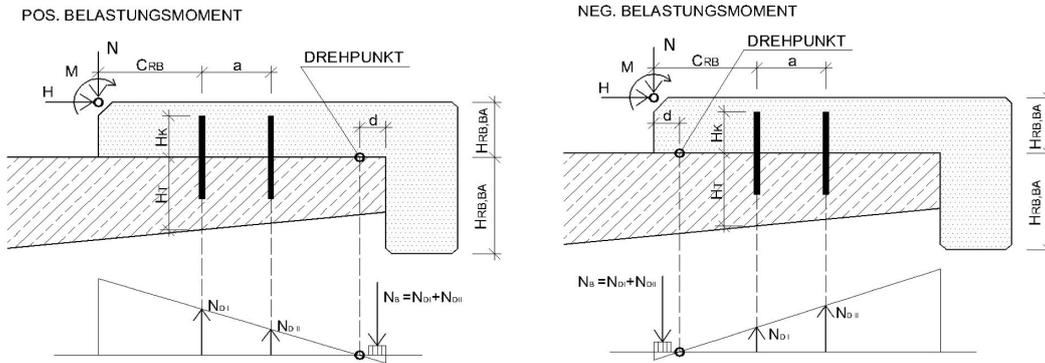
BERECHNUNGSERGEBNISSE - ÜBERSICHT					
BELASTUNG					
	Lastfall		H [kN/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
Reihe 1: Belastung um LAP	LF2		30,08	13,50	29,10
Reihe 2: Belastung um LAP	LF4		30,08	13,50	29,10
	Lastfall		H [kN]	N [kN]	
Reihe 1: Last je Dübel	LF2		9,77	14,67	
Reihe 2: Last je Dübel	LF4		15,04	11,42	
AUSNUTZUNGSGRADE - TRAGWERK			AUSNUTZUNGSGRADE - RANDBALKEN		
NORMALKRAFTAUSNUTZUNG			NORMALKRAFTAUSNUTZUNG		
	Reihe 1	Reihe 2		Reihe 1	Reihe 2
Lastfall	LF2	LF4	Lastfall	LF2	LF2
STAHLVERSAGEN:	0,12	0,16	STAHLVERSAGEN:	0,12	0,09
HERAUSZIEHEN UND BETON AUSBRUCH:	0,52	0,59	HERAUSZIEHEN:	0,31	0,24
SPALTEN:	0,28	0,33	BETON AUSBRUCH:	0,26	0,18
β_N	0,52	0,59	LOKALER BETON AUSBRUCH:	0,26	0,18
			β_N	0,61	0,43
QUERKRAFTAUSNUTZUNG			QUERKRAFTAUSNUTZUNG		
	Reihe 1	Reihe 2		Reihe 1	Reihe 2
Lastfall	LF2	LF4	Lastfall	LF2	LF2
STAHLVERSAGEN:	0,19	0,12	STAHLVERSAGEN:	0,16	0,24
PRYOUT:	0,14	0,09	PRYOUT:	0,08	0,12
BETONKANTENBRUCH:	0,61	0,00	BETONKANTENBRUCH:	0,35	
β_H	0,61	0,12	β_H	0,35	0,71
N - V INTERAKTION - TRAGWERK			N - V INTERAKTION - RANDBALKEN		
	Reihe 1	Reihe 2		Reihe 1	Reihe 2
Lastfall	LF2	LF4	Lastfall	LF2	LF2
α	1,50	1,50	α	1,50	1,50
$\beta_N^\alpha + \beta_H^\alpha < 1,0$	0,85	0,49	$\beta_N^\alpha + \beta_H^\alpha < 1,0$	0,69	0,89
AUSNUTZUNG TRAGWERK - GRAFISCH			AUSNUTZUNG RANDBALKEN - GRAFISCH		



BERECHNUNGSERGEBNISSE - DETAIL				
LASTAUFSTELLUNG	[kN/m]		[kN/m]	[kNm/m]
Eigengewicht Randbalken				
H=	0,00	N=	9,50	M= 6,70
Lasten aus manueller Lasteingabe				
H=	0,00	N=	0,00	M= 0,00
Lasten aus Rückhaltesystem				
H=	30,08	N=	0,00	M= 18,80
Lasten aus Lärmschutzwand				
EG LSW	H= 0,00	N=	4,00	M= 3,60
Wind v. l.	H= 9,63	N=	0,00	M= 12,27
Wind v. r.	H= -8,00	N=	0,00	M= -12,80
LASTFALLÜBERLAGERUNG				
LF1: Eigengewicht & händische Lasteingabe				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,35
Eigengewicht LSW	0,00	4,00	3,60	1,35
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,35
Belastung im LF1:	0,00	18,23	13,91	
LF2: Eigengewicht & händisch + Anprall				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,00
Eigengewicht LSW	0,00	4,00	3,60	1,00
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,00
Anpralllast	30,08	0,00	18,80	1,00
Belastung im LF2:	30,08	13,50	29,10	
LF3: Eigengewicht & händisch + Wind von links				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,35
Eigengewicht LSW	0,00	4,00	3,60	1,35
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,35
Wind "von links"	9,63	0,00	12,27	1,50
Belastung im LF3:	14,44	18,23	32,31	
LF4: Eigengewicht & händisch + Windlast von rechts				
	H [kN]	N [kN]	M [kN]	γ []
Eigengewicht Randbalken	0,00	9,50	6,70	1,35
Eigengewicht LSW	0,00	4,00	3,60	1,35
händische Lasteingabe	0,00	0,00	0,00	1,35
Wind "von rechts"	-8,00	0,00	-12,80	1,50
Belastung im LF4:	-12,00	18,23	-5,30	

TRANSFORMATION IN DÜBELLASTEN

Die in den Lastfällen 1 bis 4 ermittelten Lasten je Meter Brücke, werden in Dübellasten umgerechnet. Dabei wird der Drehpunkt je nach Belastung automatisch gewählt.



Lastfall	Drehpunkt	Lasten um Bezugspunkt LAP		
		H [kN/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
LF1	rechts	0,00	18,23	13,91
LF2	rechts	30,08	13,50	29,10
LF3	rechts	14,44	18,23	32,31
LF4	links	-12,00	18,23	-5,30

Dübelabstand Reihe 1 = 650 mm => 1,54 Stk/m
 Dübelabstand Reihe 2 = 1000 mm => 1,00 Stk/m

Lastfall	Dübellasten Reihe 1		Dübellasten Reihe 2	
	N [kN/Stk]	H [kN/Stk]	N [kN/Stk]	H [kN/Stk]
LF1	0,00	0,00	0,00	0,00
LF2	14,67	9,77	11,42	15,04
LF3	11,25	4,69	8,76	7,22
LF4	2,68	-3,90	13,27	-6,00

Nachweise - Tragwerk

- maximale Beanspruchung der Dübelreihe 1 entsteht im LF2 .
- maximale Beanspruchung der Dübelreihe 2 entsteht im LF4 .

Nachweise - Randbalken

- maximale Beanspruchung der Dübelreihe 1 entsteht im LF2 .
- maximale Beanspruchung der Dübelreihe 2 entsteht im LF2 .

Die genauen Berechnungen werden nur für diese Lastfälle dargestellt.

NACHWEISE - TRAGWERK

NORMALKRAFTBEANSPRUCHUNG

Stahlversagen	Reihe 1	Reihe 2		
$N_{Rk,s}$	126,00	126,00	[kN]	Charakteristische Zugkrafttragfähigkeit lt. Dübelzulassung
γ_{Ms}	1,00	1,50	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,s}$	126,00	84,00	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,s}$	14,67	13,27	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,s}$	0,12	0,16	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlzugversagen
Kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonbruch				
$\psi_{re,Np}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.3f, Glg. 5.2i
$\psi_{ec,Np}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.3e, Glg. 5.2h
$\psi_{g,Np}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.3d, Glg. 5.2f
$c_{cr,Np}$	195	195	[mm]	TR029, 5.2.2.3b, Glg. 5.2d
$s_{cr,Np}$	390	390	[mm]	TR029, 5.2.2.3b, Glg. 5.2c
$\psi_{s,Np}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.3, Glg. 5.2e
$A_{p,N}^0$	152100	152100	[mm ²]	TR029, 5.2.2.3, Glg. 5.2b
$A_{p,N}$	152100	152100	[mm ²]	TR029, 5.2.2.3, Glg. 5.2b
$I_{längs}$	390	390	[mm]	vgl TR029, 5.2.2.3, Bild 5.2a
I_{quer}	390	390	[mm]	vgl TR029, 5.2.2.3, Bild 5.2a
$N_{Rk,p}^0$	47,57	47,57	[kN]	TR029, 5.2.2.3a, Glg. 5.2a
$N_{Rk,p}$	47,57	47,57	[kN]	TR029, 5.2.2.3, Glg. 5.2
γ_{Mp}	1,68	2,10	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,p}$	28,32	22,65	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,p}$	14,67	13,27	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,Np}$	0,52	0,59	[]	Ausnutzungsgrad - Herausziehen und Betonbruch
Betonausbruch				
$\psi_{ec,N}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.4e, Glg. 5.3e
$\psi_{re,N}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.4d, Glg. 5.3d
$\psi_{s,N}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.4c, Glg. 5.3c
$c_{cr,N}$	195	195	[mm]	TR029, 5.2.2.4b
$s_{cr,N}$	390	390	[mm]	TR029, 5.2.2.4b
$A_{c,N}^0$	152100	152100	[mm ²]	TR029, 5.2.2.4b, Glg. 5.3b
$A_{c,N}$	152100	152100	[mm ²]	TR029, 5.2.2.4b
$I_{längs}$	390	390	[mm]	vgl. TR029, 5.2.2.4, Bild 5.4a
I_{quer}	390	390	[mm]	vgl. TR029, 5.2.2.4, Bild 5.4a
$N_{Rk,c}^0$	64,92	64,92	[kN]	TR029, 5.2.2.4a, Glg. 5.3a
$N_{Rk,c}$	64,92	64,92	[kN]	TR029, 5.2.2.4
γ_{Mc}	1,68	2,10	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,c}$	38,64	30,91	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,c}$	14,67	13,27	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,c}$	0,38	0,43	[]	Ausnutzungsgrad - Betonausbruch

NACHWEISE - TRAGWERK

Spalten bei Belastung

	Reihe 1	Reihe 2		
$\Psi_{h,sp}$	1,35	1,29	[]	TR029, 5.2.2.6, Glg. 5.4b
$\Psi_{ec,N}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.4, Glg. 5.3e
$\Psi_{re,N}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.4, Glg. 5.3d
$\Psi_{s,N}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.2.4, Glg. 5.3.c
$c_{cr,Sp}$	130	130	[mm]	TR029, 5.2.2.4b
$s_{cr,Sp}$	260	260	[mm]	TR029, 5.2.2.4b
$A_{c,N}^0$	67600	67600	[mm ²]	TR029, 5.2.2.4b, Glg. 5.3b
$A_{c,N}$	67600	67600	[mm ²]	TR029, 5.2.2.4b
$l_{längs}$	260	260	[mm]	vgl. TR029, 5.2.2.4, Bild 5.4a
l_{quer}	260	260	[mm]	vgl. TR029, 5.2.2.4, Bild 5.4a
k_1	7,20	7,20	[]	TR029, 5.2.2.4, Glg. 5.3a
$N_{Rk,c}^0$	64,92	64,92	[kN]	TR029, 5.2.2.4a, Glg. 5.3a
$N_{Rk,sp}$	87,55	83,46	[kN]	TR029, 5.2.2.6, Glg. 5.4
γ_{Msp}	1,68	2,10	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$N_{Rd,sp}$	52,11	39,74	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,sp}$	14,67	13,27	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,c}$	0,28	0,33	[]	Ausnutzungsgrad - Spalten

QUERKRAFTBEANSPRUCHUNG

Stahlversagen, (Querlast ohne Hebelsarm)

$H_{Rk,s}$	63,00	63,00	[kN]	Charakteristische Zugkrafttragfähigkeit lt. Dübelzulassung
$\gamma_{Ms,h}$	1,00	1,25	[]	Teilsicherheitsbeiwert lt. Zulassung
$H_{Rd,s}$	63,00	50,40	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
H_{Sd}	9,77	-6,00	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,s}$	0,19	0,12	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlversagen Querlast

Betonausbruch auf der Lastabgewandten Seite (Pryout)

k	2,00	2,00	[]	TR029, 5.2.3.3, 5.7b/c
$N_{Rk,p}$	47,57	47,57	[kN]	TR029, 5.2.3.3, Glg. 5.7
$N_{Rk,cp}$	64,92	64,92	[kN]	TR029, 5.2.3.3, Glg. 5.7a
$H_{Rk,cp}$	95,14	95,14	[kN]	TR029, 5.2.3.3
γ_{Mcp}	1,35	1,50	[]	Teilsicherheitswert lt. Zulassung
$H_{Rd,cp}$	70,48	63,43	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$H_{Sd,cp}$	9,77	-6,00	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,cp}$	0,14	0,09	[]	Ausnutzungsgrad - Pryout

NACHWEISE - TRAGWERK

Betonkantenbruch

	Reihe 1	Reihe 2		
$\Psi_{Re,H}$	1,20	1,20	[]	TR029, 5.2.3.4g
$\Psi_{ec,H}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.3.4f, Glg. 5.8h
$\Psi_{\Delta,H}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.3.4e, Glg. 5.8g
$\Psi_{h,H}$	2,48	1,77	[]	TR029, 5.2.3.4d, Glg. 5.8f
$\Psi_{s,H}$	1,00	1,00	[]	TR029, 5.2.3.4c, Glg. 5.8e
$A_{c,H}^0$	3025800	793800	[mm ²]	TR029, 5.2.3.4b, Glg. 5.8d
$A_{c,H}$	130000	200000	[mm ²]	TR029, 5.2.3.4b
$l_{\text{längs}}$	200	200	[mm]	
h	650	1000	[mm]	
α	0,0398	0,0556	[]	TR029, 5.2.3.4a, Glg. 5.8b
β	0,0455	0,0520	[]	TR029, 5.2.3.4a, Glg. 5.8c
k_1	1,70	1,70	[]	TR029, 5.2.3.4a
$H_{Rk,c}^0$	338,38	133,78	[kN]	TR029, 5.2.3.4a, Glg. 5.8a
$H_{Rk,c}$	43,26	71,79	[kN]	TR029, 5.2.3.4
γ_{Mc}	1,35	1,50	[]	Teilsicherheitswert lt. Zulassung
$H_{Rd,c}$	32,05	47,86	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$H_{Sd,c}$	19,55	0,00	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,c}$	0,61	0,00	[]	Ausnutzungsgrad - Betonkantenbruch

INTERAKTIONSNACHWEIS NORMALKRAFT - QUERKRAFT

β_N	0,52	0,59	[]	TR029, 5.2.4
β_H	0,61	0,12	[]	TR029, 5.2.4
α	1,50	1,50	[]	TR029, 5.2.4
$(\beta_N)^\alpha + (\beta_H)^\alpha$	0,85	0,49	[]	TR029, 5.2.4, Glg. 5.10

Die gewählte Verankerung im Tragwerk ist zulässig!

NACHWEISE - RANDBALKEN

NORMALKRAFTBEANSPRUCHUNG

Stahlversagen:	Reihe 1	Reihe 2		
$N_{Rk,s}$	126,00	126,00	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Glg. 5.4
γ_{Ms}	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Abb. 5.9
$N_{Rd,s}$	126,00	126,00	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,s}$	14,67	11,42	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,s}$	0,12	0,09	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlversagen
Herausziehen:				
$\Psi_{ucr,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, 5.1.2.4.3
$f_{cwk,150}$	25,00	25,00	[N/mm ²]	Würfeldruckfestigkeit
A_h	298	298	[mm ²]	Aufstandsfläche der Mutter
p_{uk}	157,89	157,89	[N/mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Glg. 5.6
$N_{Rk,p}$	47,01	47,01	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Glg. 5.5
γ_{Mp}	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile in STB, Abb. 5.9
$N_{Rd,p}$	47,01	47,01	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,p}$	14,67	11,42	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,p}$	0,31	0,24	[]	Ausnutzungsgrad - Herausziehen
Betonausbruch:				
$\Psi_{ucr,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\Psi_{ec,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.12
$\Psi_{re,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.11
$c_{cr,N}$	225	225	[mm]	halbe idealisierte Länge des Ausbruchskegels
$s_{cr,N}$	450	450	[mm]	Länge des idealisierten Ausbruchskegels
$\Psi_{s,N}$	0,94	0,94	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.10
$A_{c,N}^0$	202500	202500	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$A_{c,N}$	171000	191250	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$l_{längs}$	450	450	[mm]	vorh. Länge des Ausbruchskegels
l_{quer}	380	425	[mm]	vorh. Breite des Ausbruchskegels
k_1	9,00	9,00	[]	Faktor lt. Hilti Bemessungshandbuch
$N_{Rk,c}^0$	84,82	84,82	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.9
$N_{Rk,c}$	67,33	75,30	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.8
γ_{Mc}	1,20	1,20	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$N_{Rd,c}$	56,11	62,75	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,c}$	14,67	11,42	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,c}$	0,26	0,18	[]	Ausnutzungsgrad - Betonausbruch
Spaltbruch:				
$\Psi_{h,sp}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.15
$s_{cr,sp}$	450	450	[mm]	halbe idealisierte Länge des Ausbruchskegels
$c_{cr,sp}$	225	225	[mm]	Länge des idealisierten Ausbruchskegels
$\Psi_{ucr,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4

NACHWEISE - RANDBALKEN

	Reihe 1	Reihe 2		
$\Psi_{re,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.11
$\Psi_{ec,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.12
$\Psi_{s,N}$	0,94	0,94	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.10
$A_{c,N}^0$	202500	202500	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$A_{c,N}$	171000	191250	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile
$l_{längs}$	450	450	[mm]	vorh. Länge des Ausbruchskegels
l_{quer}	380	425	[mm]	vorh. Breite des Ausbruchskegels
$N_{Rk,c}^0$	84,82	84,82	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.9
$N_{Rk,sp}$	67,33	75,30	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.8
γ_{Msp}	1,20	1,20	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$N_{Rd,sp}$	56,11	62,75	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,sp}$	14,67	11,42	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,sp}$	0,26	0,18	[]	Ausnutzungsgrad - Spaltbruch
lokaler Betonausbruch:				
$\Psi_{s,Nb}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.18
$\Psi_{ucr,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\Psi_{ec,Nb}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.20
$\Psi_{g,Nb}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.19
$A_{c,Nb}^0$	202500	202500	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.6
$A_{c,Nb}$	45562,5	50625	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.6
$l_{längs}$	225	225	[mm]	vorh. Länge des Ausbruchskegels
l_{quer}	202,5	225	[mm]	vorh. Breite des Ausbruchskegels
$N_{Rk,cb}^0$	127,46	127,46	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.17
$N_{Rk,cb}$	28,68	31,86	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.16
γ_{Mc}	1,20	1,20	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$N_{Rd,cb}$	23,90	26,55	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$N_{Sd,cb}$	14,67	11,42	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{N,cb}$	0,61	0,43	[]	Ausnutzungsgrad - lokaler Betonausbruch
QUERKRAFTBEANSPRUCHUNG				
Stahlversagen (Querlast ohne Hebelsarm):				
$H_{Rk,s}$	63,00	63,00	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.1
γ_{Mc}	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$H_{Rd,s}$	63,00	63,00	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$H_{Sd,s}$	9,77	15,04	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,s}$	0,16	0,24	[]	Ausnutzungsgrad - Stahlversagen Querlast

NACHWEISE - RANDBALKEN

Betonausbruch auf lastabgewandter Seite (Pryout):

	Reihe 1	Reihe 2		
k_4	2,00	2,00	[]	
$N_{Rk,c}$	71,76	75,30	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$H_{Rk,cp}$	143,51	150,60	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.24
γ_{Mc}	1,20	1,20	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$H_{Rd,cp}$	119,59	125,50	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$H_{Sd,cp}$	9,77	15,04	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,cp}$	0,08	0,12	[]	Ausnutzungsgrad - Pryout
Betonkantenbruch:				
$\psi_{ucr,N}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.4.4
$\psi_{ec,H}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.4
$\psi_{\alpha,H}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.34
$\psi_{h,H}$	1,03	1,52	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.33
$\psi_{s,H}$	1,00	1,00	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.32
$A_{c,H}^0$	145800	1513800	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.4
$A_{c,H}$	135000	250000	[mm ²]	RL - konstr. Stahleinbauteile, 5.1.2.5.4
$l_{\text{längs}}$	540	1000	[mm]	vorhandene Ausbruchslänge
$h_{\text{längs}}$	250	250	[mm]	vorhandene Ausbruchshöhe
$H_{Rk,c}^0$	34,89	201,80	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.26
$H_{Rk,c}$	33,14	50,50	[kN]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Glg. 5.25
γ_{Mc}	1,20	1,20	[]	RL - konstr. Stahleinbauteile, Abb. 5.9
$H_{Rd,c}$	27,62	42,09	[kN]	Bemessungswert des Widerstandes
$H_{Sd,c}$	9,77	30,08	[kN]	Bemessungswert der Einwirkung
$\beta_{H,c}$	0,35	0,71	[]	Ausnutzungsgrad - Betonkantenbruch

INTERAKTIONSNACHWEIS NORMALKRAFT - QUERKRAFT

	Reihe 1	Reihe 2	
β_N	0,61	0,43	max. Auslastungsgrad aus Normalkraftbeanspruchung
β_H	0,35	0,71	max. Auslastungsgrad aus Querkraftbeanspruchung
α	1,50	1,50	RL - Betoneinbauteile, 5.1.2.6.2
$(\beta_N)^\alpha + (\beta_H)^\alpha$	0,69	0,89	RL - Betoneinbauteile, Glg. 5.42, Glg. 5.46

Die gewählte Verankerung im Randbalken ist zulässig!

DISCLAIMER

Diese Software unterstützt den Planer bei der Bemessung von Randbalkenverdübelungen auf Brückentragwerken. Dieses Programm ist als reines Hilfsmittel für den Anwender zu verstehen, ohne Garantie auf Fehlerlosigkeit oder auf Richtigkeit und Genauigkeit. Die endgültige Auswahl der Befestigungsmittel ist daher auf Plausibilität zu prüfen. Dies kann zweckdienlicherweise mit dem Hilti Dübelbemessungsprogramm Profis Anchor (ab Version 2.0) oder mit dem Hilti Handbuch der Befestigungstechnik (Ausgabe 2010) erfolgen. Für Eingabe und Ergebnis haftet der Anwender und/oder der projektierende Ingenieur. Bei Fragen zum vorliegenden Bemessungsprogramm steht Ihnen das Hilti Engineering unter der kostenlosen Rufnummer: 0800/818100 für Rückfragen gerne zur Verfügung.